

MODELAÇÃO E MAPEAMENTO DA PROBABILIDADE DE INCÊNDIO FLORESTAL

Hugo Manuel dos Santos Saturnino

Dissertação apresentada ao Instituto Politécnico de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Sistemas de Informação Geográfica Especialização em Análise de Bio-Sistemas, realizada sob a orientação científica do Professor Paulo Alexandre Justo Fernandez, Professor Adjunto da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco e sob a co-orientação do Engenheiro José António Abrantes Massano Monteiro, Assistente da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

À minha família

*“As doutrinas expressas neste trabalho
são da inteira responsabilidade do seu autor”*

Agradecimentos

Ao finalizar esta dissertação, desejo manifestar o meu reconhecimento e apreço a todos aqueles que de alguma forma colaboraram para a sua concretização:

Um especial agradecimento ao Professor Paulo Fernandez, da Escola Superior Agrária de Castelo Branco, pela sugestão do tema, pela confiança demonstrada na minha pessoa, pela sua disponibilidade e oportuna orientação científica do presente trabalho.

Ao Professor José Massano, da Escola Superior da Agrária de Castelo Branco, pela sua co-orientação e às suas oportunas revisões e sugestões.

Ao Eng.º Rui Almeida, da Autoridade Florestal Nacional, enquanto orientador externo e aos seus oportunos comentários ao presente trabalho.

Aos técnicos dos Gabinetes Técnicos Florestais, Eng.º Manuel Monteiro do município de Idanha-a-Nova, à Dr.ª Cláudia Mendes do município de Oleiros, à Eng.ª Cristina Nunes e Eng.ª Paula Martins do município da Sertã, ao Eng.º Bruno Cardoso do município de Vila de Rei e ao Eng.º Daniel Farinha do município de Proença-a-Nova, na elaboração e cedência de alguma da cartografia de base utilizada, mas ainda assim fundamental para a realização deste trabalho.

Com especial carinho ao meu tio António Manuel pela sua disponibilidade e empenho nas preciosas revisões ao presente trabalho.

Aos colegas e grandes amigos Carlos Tomaz, Filipe Oliveira, Suzete Cabaceira e Sandra Esteves por todo apoio, disponibilidade e colaboração prestada.

Palavras Chave

Modelos de probabilidade; Incêndio florestal; Regressão logística; Sistemas de Informação Geográfica.

Resumo

Uma determinada paisagem rural pressupõe uma relativa tipificação na propagação dos incêndios florestais pelo que, os objectivos do presente trabalho, pretenderam a produção de modelos de probabilidade de incêndio florestal, do tipo estrutural, com especificidade regional, bem como a elaboração de cenários de probabilidade espacial de ocorrência de incêndios.

Foram estabelecidas duas áreas de trabalho, a região do Pinhal Interior Sul e a região de Idanha-a-Nova, inserida na Beira Interior Sul. Ainda que relativamente próximas, as áreas de estudo consideradas são completamente distintas quanto à orografia e à ocupação e uso do solo.

O desenvolvimento dos modelos referidos foi realizado através da análise de regressão logística. A metodologia seguida utilizou parâmetros físicos, de ocupação do solo e a localização espacial de determinadas infra-estruturas susceptíveis de interacção humana com o fogo. A validação dos modelos foi através da adaptação de um índice de concordância espacial que analisou as classes de probabilidade de incêndio mais elevadas com as áreas ardidas efectivas, em determinado território e em determinado período temporal.

Os trabalhos permitiram definir dois modelos de acordo com as especificidades regionais evidenciadas. Os modelos por sua vez permitiram construir cenários de probabilidade de ocorrência de incêndio, que apresentaram níveis de concordância espacial próximos dos 80% em ambas as regiões, ainda que em períodos de validação distintos.

Key words

Probability models; Wild fire; Logistic regression; Geographic information system.

Abstract

A given rural landscape implies a specific wild fire propagation, thus the aim of this study was to develop wild fire probability models, specifically designed for two different landscapes, that is, the Pinhal Interior Sul and Idanha-a-Nova regions. Despite the geographic proximity, those regions are distinct in features such as land cover and orography.

The two models were developed using the logistic regression analysis and were setting up by using parameters such as land cover and infra-structures localization. The validation of the model was carried out using a similarity index, to compare the higher wild fire probability risk areas with effectively burned areas, for a certain time period and localization.

The two models suited each landscape and allowed to perform probability scenarios of wild fire occurrence with 80% of spatial similarity in both regions, although in different periods of validation.

Índice geral

Índice geral	vii
Índice de figuras	viii
Índice de quadros	x
Lista de anexos	xi
1. Introdução	1
2. Modelação da probabilidade de ocorrência de incêndio florestal	4
2.1 Parâmetros de entrada.....	4
2.2 Escala da situação de referência	9
2.3 Integração de variáveis	10
3. Materiais e métodos.....	13
3.1 Caracterização das áreas de estudo	14
3.2 Bases cartográficas	20
3.3 Metodologia e estruturação da informação geográfica de base	21
3.4 Construção de modelos de probabilidade de ocorrência de incêndio florestal	25
3.5 Validação dos modelos e elaboração de cenários de ocorrência de incêndio florestal	29
4. Resultados	31
4.1 Modelos de probabilidade de ocorrência de incêndio	31
4.2 Cenários de probabilidade de incêndio	34
4.3 Validação dos modelos de probabilidade de incêndio	44
5. Conclusões	48
Bibliografia.....	52
Anexos	56

Índice de figuras

Figura 1 - Modelo conceitual de faseamento e sequência das diversas etapas do trabalho.	13
Figura 2 - Enquadramento geográfico da área de estudo.....	14
Figura 3 - Aspecto paisagístico da região do Pinhal Interior Sul, adaptado de fotografia aérea de 2005.	15
Figura 4 - Evolução da área percorrida por incêndio e número de ocorrências, na região do PIS. 17	
Figura 5 - Aspecto paisagístico da região de Idanha, adaptado de fotografia aérea de 2005.	18
Figura 6 - Evolução da área percorrida por incêndio e número de ocorrências, na região do PIS. 19	
Figura 7 - Interface para cálculo da regressão logística.	28
Figura 8 - Coeficientes padronizados para as regiões do PIS e Idanha-a-Nova.....	33
Figura 9 - Cenário de probabilidade de ocorrência de incêndio na região do PIS, com ocupação CLC 2000.	34
Figura 10 - Distribuição espacial do cenário de probabilidade de incêndio (CLC 2000) com a área ardida 2000 - 2006.....	35
Figura 11 - Cenário de probabilidade de incêndio florestal com ocupação CLC2000 na área ardida (AA) 2000-2006.	35
Figura 12 - Cenário de probabilidade de ocorrência de incêndio num cenário derivado da ocupação de 2007.....	36
Figura 13 - Distribuição espacial do cenário de probabilidade de incêndio, ocupação 2007 e a área ardida de 2007 - 2011.....	37
Figura 14 - Cenário de probabilidade de ocorrência de incêndio com CLC 2006 e ocupação 2007.	38
Figura 15 - Distribuição espacial do cenário de probabilidade de incêndio, ocupação 2007 e CLC 2006 com a área ardida de 2007 - 2011.....	39
Figura 16 - Comparação dos cenários de probabilidade de incêndio florestal desenvolvidos com recurso à ocupação 2007 e à combinação ocupação 2007 e CLC2006 na área ardida (AA) 2007 - 2011.	39
Figura 17 - Cenário de probabilidade de ocorrência de incêndio para a região de Idanha com ocupação CLC 2000.	40
Figura 18 - Distribuição espacial do cenário de probabilidade de incêndio (CLC 2000) com a área ardida 2000 - 2006.....	41
Figura 19 - Classes de probabilidade de incêndio florestal com base na CLC2000 nas áreas ardidas (AA) 2000-2006.	41
Figura 20 - Cenário de probabilidade de ocorrência de incêndio na região de Idanha com ocupação 2007.	42

Figura 21 - Análise espacial do cenário de probabilidade de incêndio com ocupação 2007 e a área ardida 2007 - 2011.....	43
Figura 22 - Classes de probabilidade de incêndio florestal com base na ocupação 2007 nas áreas ardidas (AA) 2007-2011.	43
Figura 23 - Índice de desempenho ou concordância espacial para a região do PIS.	44
Figura 24 - Distribuição da área ardida por tipo de ocupação do solo na região do PIS.	45
Figura 25 - Índice de desempenho ou concordância espacial para a região de Idanha-a-Nova.	46
Figura 26 - Distribuição da área ardida por ocupações tipo na região de Idanha.	47

Índice de quadros

Quadro 1 - Comparação de dados meteorológicos anuais e no período crítico.	20
Quadro 2 - Reclassificação das classes altimétricas, declive e exposições.	22
Quadro 3 - Reclassificação das bases cartográficas de ocupação do solo.	23
Quadro 4 - Reclassificação da densidade e proximidade à rede viária e proximidade a aglomerados urbanos.	24
Quadro 5 - Reclassificação das áreas de visibilidade.	24
Quadro 6 - Contributo de cada variável no modelo de probabilidade para o PIS.	32
Quadro 7 - Contributo de cada variável no modelo de probabilidade para Idanha-a-Nova.	32
Quadro 8 - Quantificação do ajuste dos modelos.	33
Quadro 9 - Combinação da ocupação 2007 com a CLC 2006, segundo a classificação à propensão ao fogo.	37

Lista de anexos

- Anexo I:
- Figura 1 - Mapa de Áreas Ardidas - Região do Pinhal Interior Sul
 - Figura 2 - Mapa de Áreas Ardidas - Região de Idanha-a-Nova
 - Figura 3 - Mapa de Hipsometria - Região do Pinhal Interior Sul
 - Figura 4 - Mapa de Hipsometria - Região de Idanha-a-Nova
 - Figura 5 - Mapa de Declives - Região do Pinhal Interior Sul
 - Figura 6 - Mapa de Declives - Região de Idanha-a-Nova
 - Figura 7 - Mapa de Exposições - Região do Pinhal Interior Sul
 - Figura 8 - Mapa de Exposições - Região de Idanha-a-Nova
 - Figura 9 - Mapa de Ocupação do Solo COS'90 - Região do Pinhal Interior Sul
 - Figura 10 - Mapa de Ocupação do Solo COS'90 - Região de Idanha-a-Nova
 - Figura 11 - Mapa de Ocupação do Solo CLC 2000 - Região do Pinhal Interior Sul
 - Figura 12 - Mapa de Ocupação do Solo CLC 2000 - Região de Idanha-a-Nova
 - Figura 13 - Mapa de Ocupação do Solo CLC 2006 - Região do Pinhal Interior Sul
 - Figura 14 - Mapa de Ocupação do Solo, Ocup. 2007 - Região do Pinhal Interior Sul
 - Figura 15 - Mapa de Ocupação do Solo, Ocup. 2007 - Região de Idanha-a-Nova
 - Figura 16 - Mapa de Densidade de Rede Viária - Região do Pinhal Interior Sul
 - Figura 17 - Mapa de Densidade de Rede Viária - Região de Idanha-a-Nova
 - Figura 18 - Mapa de Proximidade à Rede Viária - Região do Pinhal Interior Sul
 - Figura 19 - Mapa de Proximidade à Rede Viária - Região de Idanha-a-Nova
 - Figura 20 - Mapa de Proximidade aos Aglomerados Urbanos - Região do Pinhal Interior Sul
 - Figura 21 - Mapa de Proximidade aos Aglomerados Urbanos - Região de Idanha-a-Nova
 - Figura 22 - Mapa de Visibilidade da Rede de Postos de Vigia - Região do Pinhal Interior Sul
 - Figura 23 - Mapa de Visibilidade da Rede de Postos de Vigia - Região de Idanha-a-Nova
- Anexo II: Modelo de probabilidade de incêndio florestal calculado para a região do Pinhal Interior Sul
- Anexo III: Modelo de probabilidade de incêndio florestal calculado para a região de Idanha-a-Nova

Anexo VI: Figura 24 - Cenário de Probabilidade de Incêndio Florestal com a Ocup. CLC 2000 - Região do Pinhal Interior Sul

Figura 25 - Cenário de Probabilidade de Incêndio Florestal (CLC 2000) com a Área Ardida 2000 - 2006 - Região do Pinhal Interior Sul

Figura 26 - Cenário de Probabilidade de Incêndio Florestal com a Ocup. 2007 - Região do Pinhal Interior Sul

Figura 27 - Cenário de Probabilidade de Incêndio Florestal (Ocup. 2007) com a Área Ardida 2007 - 2011 - Região do Pinhal Interior Sul

Figura 28 - Cenário de Probabilidade de Incêndio Florestal com a Ocup. 2007 e CLC 2006 - Região do Pinhal Interior Sul

Figura 29 - Cenário de Probabilidade de Incêndio Florestal (Ocup. 2007 + CLC 2006) com a Área Ardida 2007 - 2011 - Região do Pinhal Interior Sul

Anexo V: Figura 30 - Cenário de Probabilidade de Incêndio Florestal com a Ocup. CLC 2000 - Região de Idanha-a-Nova

Figura 31 - Cenário de Probabilidade de Incêndio Florestal (CLC 2000) com a Área Ardida 2000 - 2006 - Região de Idanha-a-Nova

Figura 32 - Cenário de Probabilidade de Incêndio Florestal com a Ocup. 2007 - Região de Idanha-a-Nova

Figura 33 - Cenário de Probabilidade de Incêndio Florestal (Ocup. 2007) com a Área Ardida 2007 - 2011 - Região de Idanha-a-Nova

1. Introdução

Os espaços florestais nacionais, para além de albergarem uma riqueza biogénica inquestionável, estima-se que sejam responsáveis por gerarem uma riqueza na ordem dos 1,3 mil milhões de euros/ano, tal como suportam cerca de 113 mil postos de trabalho directos, ou seja, cerca de 2% da população activa (DGRF 2007).

Os incêndios, de acordo com vários estudos desenvolvidos, são hoje o fenómeno susceptível de maior destruição, que os espaços florestais enfrentam. De acordo com dados oficiais da Autoridade Florestal Nacional, dados estatísticos e relatórios alusivos às áreas ardidas em espaços florestais, entre os anos 1980 e 2011, arderam cerca de 3,47 milhões de hectares (AFN 2012).

Uma análise mais pormenorizada revela que o maior número de ocorrências dá-se nos distritos mais densamente povoados (ex. Porto e Lisboa). Opostamente, os distritos com menor densidade populacional apresentam um menor número de ocorrências, verificando-se contudo áreas substancialmente maiores percorridas por incêndios. Os distritos localizados no interior do país são “bom” exemplo desse fenómeno. Para o mesmo período de tempo, os distritos que apresentam maior área ardida são Guarda, Viseu e Castelo Branco, respectivamente com 603 845 ha, 354 354 ha e 346 990 ha de área ardida. O distrito de Castelo Branco destaca-se, quanto a povoamentos florestais, por apresentar em igual período uma maior área ardida, 247 834 ha, com especial incidência nos concelhos da denominada região do Pinhal Interior Sul, Oleiros, Sertã, Proença-a-Nova e Vila de Rei.

Naturalmente, a disponibilidade de um mapa de probabilidade de ocorrência de incêndio, a curto/médio prazo, será um valioso instrumento de apoio à decisão na eleição de zonas para tratamento de combustíveis, localização de determinadas infra-estruturas, ou na disposição dos meios de supressão de incêndios, disponíveis em determinado território. A estimativa espacial da

ocorrência de incêndio deriva de uma zonagem cartográfica, num determinado território, com diferentes níveis de probabilidade de que o fenómeno ocorra (Colin *et al.* 2001 e Vesseron *et al.* 2002).

A relevância temática da cartografia de “risco de incêndio florestal” tem merecido a maior atenção quer pela comunidade científica, quer pela comunidade técnica. A definição do conceito de “risco” não decorre, contudo, de um acordo unânime e reconhecido universalmente. Os conceitos de risco e perigosidade têm sido objecto de tentativas de diferenciação, por vezes unicamente da tradução das terminologias utilizadas em países de influência anglo-saxónica.

O termo *hazard*, traduzido em algumas situações por perigosidade, é usualmente utilizado para descrever as características dos combustíveis florestais num determinado local e num determinado período temporal. O termo pretende expressar sobretudo o potencial de comportamento do fogo. O termo *risk* (risco) é comumente aceite e decorre da probabilidade de ocorrência do fenómeno, em determinado local e em determinado momento, considerando a natureza e incidência dos agentes causantes. Por outras palavras, assume-se que determinada área tem um determinado potencial de fogo tendo em conta a dificuldade de determinar a sua probabilidade de ignição (Chuvieco 2003, Salinero e Isabel 2004 e Keane *et al.* 2010).

Para além do contexto terminológico, o termo “risco” tem sido aplicado tanto na vertente de “risco estrutural” como na vertente de “risco dinâmico”. Por risco estrutural, ou risco local, de acordo com alguns autores, entende-se como a interacção de um conjunto de factores com o histórico de incêndios florestais numa determinada área e durante um período de tempo significativo, como por exemplo, a ocupação e uso do solo, a carga de combustíveis, a orografia, as infra-estruturas de prevenção e detecção de incêndios, a densidade populacional, entre outros. Por outro lado, por risco dinâmico pressupõe-se essencialmente a detecção de alteração da inflamabilidade dos combustíveis florestais durante a época de incêndios, tal como, a velocidade e direcção do vento ou a temperatura (Colin *et al.* 2001, Freire *et al.* 2002 e Bergonse e Bidarra 2010).

Na compreensão e estudo do fenómeno do fogo, na forma de incêndios de elevada dimensão e destruição será fundamental analisar as variáveis que lhe possam estar relacionadas. Ainda que a problemática dos incêndios florestais se perca na memória dos tempos, é durante a década de 70, em pleno século XX, que o problema se agrava não só em Portugal como em outros países. Por outro lado, é reconhecido pela comunidade científica que o incremento dos incêndios quer no número de ocorrências quer no número de área ardida se deve à conjugação de factores muito diversos (Viegas *et al.* 2011):

- i. O aumento da biomassa florestal e do respectivo subcoberto, em parte devido às diversas campanhas de arborização;
- ii. O abandono de antigas práticas rurais que conduziam a uma maior presença humana nas áreas florestadas e a um maior uso da biomassa florestal;
- iii. O abandono da agricultura e a conseqüente conversão dos espaços que lhe eram dedicados, em áreas florestadas ou em incultos;

- iv. O aumento gradual da temperatura que se observou na segunda metade do século XX;
- v. A melhoria da mobilidade, que permitiu o acesso de pessoas sem experiência ou sensibilidade para a especificidade dos espaços florestais.

Numa perspectiva conceptual, a implementação de metodologias de probabilidade de ocorrência de incêndios florestais, do tipo estrutural, pressupõe obrigatoriamente a análise de factores que explicam o aparecimento, o desenvolvimento e o impacto do fogo sobre as populações, bens materiais e recursos naturais.

Qualquer metodologia de probabilidade de ocorrência de incêndio implica a conjugação de duas ou mais variáveis, que normalmente derivam dos combustíveis florestais, orografia e diversas infra-estruturas que presumem a interacção do homem.

O presente trabalho centra os seus objectivos no desenvolvimento de modelos probabilísticos de incêndio florestal, do tipo estrutural, com recurso à utilização da técnica de regressão logística, empregando plataformas de sistemas de informação geográfica (SIG), tais como a especificidade e adequação regional dos modelos desenvolvidos tendo em conta a importância das diversas variáveis consideradas. Assim, o trabalho terá como espaço de referência duas áreas geográficas perfeitamente distintas, quer ao nível da ocupação e uso do solo quer ao nível da orografia, nomeadamente a região que engloba os concelhos de Oleiros, Proença-a-Nova, Sertão e Vila de Rei, área NUT II do Pinhal Interior Sul e o concelho de Idanha-a-Nova, que integra a área NUT da Beira Interior Sul.

Pretende-se ainda a validação dos modelos através do histórico de incêndios e produção de uma cartografia de probabilidade de incêndio numa perspectiva local, à escala 1:25000. O mapeamento final de probabilidade de ocorrência de incêndio irá observar ainda o disposto no Decreto-Lei n.º 124/06, com a redacção conferida pelo Decreto-Lei n.º 17/09, nomeadamente Artigo 5.º, n.º 1, em que se define uma zonagem estratificada em cinco classes (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta).

2. Modelação da probabilidade de ocorrência de incêndio florestal

O presente capítulo pretende enquadrar não só as diversas metodologias de construção de cartografia de probabilidade de ocorrência e desenvolvimento de incêndios florestais, mas também, as diversas variáveis que de alguma forma possam influenciar a deflagração e o comportamento do fogo.

2.1 Parâmetros de entrada

Combustíveis nos espaços florestais

Todo o material vegetal, morto ou vivo, que existe nas zonas florestais e rurais pode ser considerado como potencial combustível com capacidade para dar início e propagar fogo. A vegetação no seu todo é composta por partículas de diferentes formas, dimensões e constituintes, ainda que no essencial consista em celulose. O combustível, quando em combustão, gera energia que é libertada, a qual tem grande influencia na velocidade de propagação, no nível da intensidade e nos efeitos de um potencial incêndio. O combustível é o principal factor que determina se um fogo se inicia, a dificuldade de controlá-lo e a probabilidade de este exibir um comportamento extremo ou irregular (Viegas *et al.* 2011).

Numa perspectiva estrutural, os combustíveis florestais têm um papel decisivo (Bergonse e Bidarra 2010), no risco de ignição, na intensidade e no comportamento de determinado incêndio (Salinero e Isabel 2004).

Mas se os combustíveis têm um papel inequívoco no comportamento do fogo, não haverá distinção entre os diversos tipos de combustível? Em Portugal, de acordo com Nunes *et al.* (2005) aquando da ocorrência de grandes incêndios florestais, a ocupação do solo não parece ser a mais significativa, sendo possivelmente as condições meteorológicas, verificadas à data da ocorrência

o principal factor de influência no comportamento do fogo. Contudo, os pequenos incêndios são mais selectivos e segundo o mesmo autor estes percorrem essencialmente áreas de mato e povoamentos de pinheiro bravo com subcoberto, o que provoca em muitas situações fogos de copas. Contrariamente, zonas de mosaico agrícola (olival, vinha, etc) e as culturas cerealíferas anuais são as que apresentam menor preferência pelo fogo.

Dispor de uma cartografia actualizada do tipo de combustível à escala da paisagem tem sido uma preocupação premente das últimas décadas. Durante a década de setenta, os serviços florestais dos USA, nomeadamente Rothermel (1972) e Albin (1976), apresentaram os denominados modelos de combustível, tal como o comportamento de fogo que lhe está associado. Com a sistematização da ocupação do solo relativamente aos combustíveis estavam assim lançadas as bases para cartografar, à escala da paisagem, os espaços florestais em função da probabilidade e propagação de incêndios.

Desde logo coloca-se o problema de como cartografar os diversos combustíveis, tanto à escala local como à regional, ou mesmo a actualização dessas bases cartográficas. Os levantamentos de campo foram o primeiro método a ser empregue, contudo, é impraticável à escala da paisagem. Ainda hoje são utilizados, essencialmente para trabalhos desenvolvidos à escala local, em trabalhos de grande rigor, ou para realizar levantamentos rigorosos de parcelas amostra, cujo objectivo é a calibração de sensores remotos (Arroyo *et al.* 2008).

A interpretação de fotografias aéreas, primeiro com equipamentos analógicos e mais recentemente com equipamentos digitais, tem sido uma técnica muito utilizada ao longo das últimas décadas. Com os avanços tecnológicos, através das fotografias em falsa cor ou infra-vermelhos conseguiram-se distinguir ou realçar determinados tipos de combustível, determinar e caracterizar a altura e densidade dos povoamentos florestais ou mesmo os combustíveis em subcoberto. A técnica de fotointerpretação é um bom compromisso de custo/precisão em trabalhos à escala local (Arroyo *et al.* 2008).

O recurso a modelos ecológicos são também uma possibilidade para a construção de mapas de combustíveis através de modelos biofísicos. Estes modelos têm por base gradientes bioquímicos, fenómenos climáticos e topográficos, que influenciam no desenvolvimento das diversas coberturas vegetais. Contudo, estas técnicas apresentam alguma dificuldade de aplicação, no que concerne ao total conhecimento dos parâmetros envolvidos no desenvolvimento vegetativo das diversas ocupações, bem como na complexidade e obtenção dos dados necessários à construção dos referidos modelos. Por outro lado, a partir do momento que um determinado modelo é estabilizado facilmente é adaptado a outras regiões geográficas, com características semelhantes (Arroyo *et al.* 2008).

Também nas últimas décadas, os desenvolvimentos verificados nos sensores remotos têm sido particularmente relevantes. Na sua maioria, este tipo de equipamentos é alocado a plataformas satélite que circulam em orbitas extremamente precisas em torno da Terra. Nos últimos anos têm sido desenvolvidos sensores de grande resolução para o estudo dos combustíveis florestais, adaptados a trabalhos em diversas escalas. As imagens de alta resolução

de sensores como o QuickBird e o IKONOS de resolução submétrica, têm sido utilizados na elaboração de planos de gestão de combustíveis, essencialmente em zonas de interface urbano, onde os valores em causa, como a vida humana e a propriedade, são elevados. No entanto, a maior dificuldade destes tipos de sensores é captar os combustíveis em subcoberto e determinar a altura do coberto arbóreo ou distinguir a dimensão dos diversos extractos em subcoberto (Arroyo *et al.* 2008).

Possivelmente, os avanços futuros na caracterização dos combustíveis florestais será na integração dos denominados sensores activos, como por exemplo o sistema *Light Detection and Ranging* (LiDAR), com sensores de alta resolução. Este tipo de sensores detém a capacidade de estimar a altura dos combustíveis, mesmo os que se encontram em subcoberto, tal como a altura e a densidade do arvoredado. (Arroyo *et al.* 2008).

No contexto nacional, alguns trabalhos na modelação de probabilidade de incêndios florestais têm sido desenvolvidos com recurso à adaptação de cartografia temática de ocupação do solo. O Instituto Geográfico Português (IGP) tem sido um organismo pioneiro no desenvolvimento e implementação de metodologias de probabilidade de risco de incêndio florestal. No projecto CRIF foram construídas as cartas de “risco de incêndio florestal” para os distritos de Aveiro, Braga, Bragança, Coimbra, Guarda, Portalegre, Santarém, Viana do Castelo, Vila Real e Viseu. A metodologia utilizada implicou o uso da Carta de Ocupação do Solo de 1990 (COS’90), com posterior actualização por regeneração e evolução pós fogo e com base na série de incêndios de 1990 a 2006; as diversas classes foram reclassificadas de acordo com a sua inflamabilidade potencial (IGP 2007). A COS’90 consiste numa cobertura em formato vetorial produzido na escala 1:25 000, por fotointerpretação de fotografias aéreas de um voo realizado em 1990.

Em Bergonse e Bidarra (2010), a modelação da probabilidade de risco de incêndio para o distrito de Castelo Branco foi desenvolvida utilizando a cartografia de ocupação do solo CORINE Land Cover (CLC) 2000, numa escala 1:100 000 (IGP, 2004). A CLC 2000, consiste numa cobertura em formato vetorial, baseada em imagens com uma resolução espacial de 12,5 m, produzidas pelo sensor ETM+ e instalado no satélite Landsat-7 (Painho e Caetano 2005).

Os diversos tipos de combustíveis apresentam ainda diversas especificidades de combustibilidade, intensidade e comportamento perante o fogo, pelo que naturalmente terão de ser ponderados aquando da sua entrada em qualquer modelo. Em Freire *et al.* (2002) a integração da ocupação do solo foi levada a cabo com base no estudo, por especialistas, da correlação entre a ocupação de natureza semelhante e o historial de fogo durante um período de tempo significativo. Já em Verde e Zêzere (2008), a importância atribuída às diversas classes da carta de ocupação do solo, a CLC 2000, resulta da estruturação em rácios com base na proporção entre a respectiva classe disponível na área territorial considerada e a área ardida num período de 19 anos. Para outras variáveis, como as derivadas da orografia (altimetria, exposição e declive) e infra-estruturas, entre outras, os processos de integração foram semelhantes aos descritos anteriormente.

Orografia (Altimetria, Exposição e Declive)

A altimetria, o declive e a exposição têm uma implicação reconhecida no comportamento do fogo. A altitude e a exposição têm influência na distribuição das espécies vegetais, na humidade dos combustíveis, inclusive sendo variável ao longo do dia; já o declive tem sobretudo implicação no pré-aquecimento dos combustíveis, factores determinantes na combustibilidade, intensidade e comportamento do fogo (Iniguez *et al.* 2008). A técnica empírica de análise de comportamento do fogo, denominada de CPS (Campbell 1995) pressupõe a conjugação dos diversos fenómenos fisiográficos (declive e exposição) com o vento na previsão do comportamento do fogo à escala local e à escala da paisagem, na definição de estratégias de supressão de incêndios ou posteriormente durante a análise do histórico de incêndios.

Estudos estatísticos desenvolvidos sobre o histórico de incêndios florestais confirmam que a exposição e o declive, devido à radiação solar, têm influência sobre a humidade dos combustíveis florestais e, por sua vez, na sua inflamabilidade. Zonas com exposição a Norte recebem menos luz solar directa e apresentam menos inflamabilidade que zonas com exposição predominante a Sul. O efeito da radiação solar depende também do declive. Com efeito, declives superiores a 10° apresentam uma diferença substancial de radiação, dependendo, é certo, da exposição dominante. À escala da paisagem, os sistemas orográficos com exposição predominante no quadrante sul, devido à maior exposição solar, tendem a ser percorridos com mais frequência por incêndios de grande dimensão, quando comparados com sistemas orográficos com exposições no quadrante norte (Iniguez *et al.* 2008).

Ao nível do comportamento de fogo, estudos desenvolvidos em laboratório confirmam uma forte relação entre a velocidade de propagação e o declive (Boboulos e Purvis 2009). A velocidade de propagação em declives de cerca de 30% aumenta para o dobro e, com declives de cerca de 55% aumenta em cerca de quatro vezes a velocidade inicial (Teie 2005). De acordo com Castellà e Almirall (2005), a altitude e a forma de diversos fenómenos orográficos (colos, cumeadas, vales encaixados, etc.) são factores de influência na velocidade e “canalização” dos ventos dominantes e locais, influenciando, consequentemente, a velocidade de propagação e comportamento de hipotéticos incêndios florestais.

O estudo da interacção dos factores orografia e vegetação/combustível permite localizar as unidades “*fire habitat*”, que consistem em áreas onde a recorrência de fogo é relativamente curta pelo tipo de vegetação dominante. A extrapolação do conceito “*fire habitat*” à escala da paisagem poderá ser uma ferramenta de ajuda à tomada de decisão na priorização de áreas para gestão de combustíveis (Iniguez *et al.* 2008).

O Factor Humano

A flutuação do número de ocorrências de incêndios florestais, resultantes das interacções de origem humana sobre o meio, quer directas quer indirectas, são hoje um factor preponderante, estimando-se em mais de 90% das ignições com causa humana. Martínez *et al.*

(2009) desenvolveram um estudo sobre a pertinência das práticas humanas que possam de alguma forma incrementar o risco de incêndio no território de Espanha. As variáveis que parecem ter maior influência são a estrutura fundiária à escala da paisagem, o abandono das áreas agrícolas e o uso negligente da maquinaria agrícola. A combinação resultante da densidade de maquinaria agrícola e do padrão agrícola de minifúndio elevam o risco de incêndio. A existência de densidades elevadas de propriedades e equipamentos agrícolas por unidade de área potencia o conflito e a utilização dos equipamentos de forma negligente. Por outro lado, onde as propriedades agrícolas são de grande dimensão é mais comum a utilização do fogo como ferramenta de gestão ou eliminação de resíduos vegetais, como por exemplo, a prática agrícola tradicional de renovação dos pastos naturais.

O abandono de actividades típicas das comunidades rurais, como o pastoreio e a extracção de lenha e mato, tem provocado um aumento da carga de combustível disponível nos espaços florestais e rurais. O problema é particularmente grave nos espaços florestais mediterrânicos de propriedade privada e pequena dimensão, na sua maioria de baixa produtividade, que tendem a ficar abandonados sem qualquer tipo de gestão (Salinero e Isabel 2004, González-Olabarria e Pukkala 2010).

Considerando a diversidade de ignições que ocorrem nos espaços rurais e florestais, a situação agrava-se, nomeadamente (Salinero e Isabel 2004, Martínez *et al.* 2009):

i. O uso negligente do fogo devido a práticas tradicionais agrícolas/florestais, como forma de desmatção para instalação de culturas e renovação das pastagens;

ii. O uso negligente de determinada maquinaria agrícola e florestal, por exemplo sem tapa-chamas ou a utilização de determinadas alfaías que acidentalmente produzem faúlhas;

iii. O envelhecimento da população como factor de aumento de ignições tem ganho particular importância nas últimas décadas. Uma menor capacidade física implica também uma menor capacidade de controlo do fogo e/ou de tomar as medidas necessárias de prevenção, através da prática “ancestral” do uso do fogo na eliminação de resíduos vegetais;

iv. A presença crescente de pessoas nos espaços florestais, naturais e rurais em geral como consequência do intenso desenvolvimento das actividades recreativas nestas áreas também eleva o factor de risco. As actividades como a caça, a pesca, campismo, percursos pedestres, entre outros, tem implicado um aumento desmesurado de pessoas nos espaços florestais, nem sempre sensíveis às consequências do uso negligente do fogo;

v. A expansão dos perímetros urbanos em determinadas regiões tem feito aumentar a pressão sobre os terrenos florestais e agrícolas em torno de algumas cidades, promovendo o interface urbano-florestal e a especulação imobiliária, supostamente, um dos factores de maior risco registado nas últimas décadas;

vi. As infra-estruturas lineares, sejam a rede viária, ferroviária ou de transporte de energia, nomeadamente eléctrica, devido essencialmente à falta de limpeza do combustível na periferia das referidas infra-estruturas. No caso particular da rede viária, se por um lado permite um acesso mais rápido dos meios de supressão de incêndios aos espaços que lhe estão

directamente associados, também é verdade que permite o acesso à população em geral, tal como tudo o que lhe está associado.

A interacção do homem sobre a ocupação do território também de alguma forma o condiciona a uma maior ou menor susceptibilidade de ser percorrido pelo fogo. As manchas florestais ditas industriais, sejam tradicionalmente de pinho ou de eucalipto, incrementam maior risco de propagação de incêndios, do que uma paisagem dominada pelo mosaico agrícola/florestal. A existência de descontinuidade em grandes massas de combustíveis, tal como a maior densidade de rede viária, conferem mais oportunidades de supressão e maior segurança às manobras de combate aos incêndios (Salinero e Isabel 2004, González-Olabarria e Pukkala 2010). Por outro lado, tende a estabelecer-se um “ciclo vicioso”: o baixo retorno da produção/custo da madeira das florestas mediterrânicas, em conjunto com o elevado risco de incêndio levam à ausência de gestão da propriedade contribuindo assim para o aumento da massa de combustível disponível (González-Olabarria e Pukkala 2010).

Em González-Olabarria e Pukkala (2010), a exploração florestal é tratada como ferramenta de redução de potencial combustível, passível de influenciar a probabilidade de ocorrência de incêndio. São apresentados cinco cenários de planeamento de cortes que tiveram em consideração o declive das estações e a distância à rede viária, como factores de optimização dos custos de exploração. Em sequência, ocorrem cinco cenários “possíveis” de risco de incêndio, tendo em conta os planos de cortes desenvolvidos, a predição de mortalidade do arvoredo após fogo e a probabilidade de ocorrência de incêndio.

A integração e escalonamento das variáveis derivadas do factor humano, em modelos de risco de incêndio, têm sido diversos. Por exemplo, no contexto nacional, Freire *et al.* (2002) recorre aos modelos quantitativos para incorporar e escalonar os parâmetros de distância à rede viária e aglomerados populacionais, aos espaços florestais e, em IGP (2007), utiliza por sua vez a densidade populacional como factor relevante no aumento ou diminuição do risco de incêndio. Da mesma forma, como referido anteriormente, a distância à rede viária tanto pode ser observada como um factor de risco, quando encarada como meio de possível acesso a praticas de uso do fogo de origem negligente ou premeditada, ou, como meio de acesso aos meios de supressão, actuando como factor atenuante do risco, algo de semelhante quanto à proximidade dos aglomerados urbanos e densidade populacional.

2.2 Escala da situação de referência

No estudo do risco estrutural de incêndio florestal podem ser consideradas diversas escalas de trabalho, ou seja, pode diferenciar-se em trabalhos de abrangência global, regional ou local. Os trabalhos de âmbito nacional, ou que englobem diversos países, têm normalmente por objectivo o apoio a decisões políticas gerais de prevenção de incêndios, que em muitas ocasiões se inserem em contextos internacionais. As análises de âmbito local pretendem normalmente

apoiar planos específicos de prevenção de incêndios à escala de uma determinada mancha florestal, à escala concelhia ou quanto muito à escala regional (Salinero e Isabel 2004).

Tanto no contexto nacional como internacional, são vastos os esforços no desenvolvimento e aperfeiçoamento de metodologias de determinação de risco de incêndio, a nível global, nacional ou regional. A inventariação e actualização da ocupação do solo e dos combustíveis florestais têm sido uma preocupação de primeira linha. No contexto nacional, as coberturas CLC 2000 e CLC 2006, coberturas procedentes de imagem de satélite, tem sido um recurso muito utilizado na última década por diversos investigadores Freire *et al.* (2002), Verde e Zêzere (2008) e Bergonse e Bidarra (2010). Os objectivos destes trabalhos têm-se centrado na inventariação e escalonamento espacial do risco de incêndio, com vista à percepção territorial da localização estratégica de meios de prevenção e supressão de incêndios, tal como, na gestão de investimentos em infra-estruturas de prevenção.

2.3 Integração de variáveis

Na temática da cartografia de probabilidade de ocorrência de incêndios florestais, a integração das diversas variáveis tem sido objecto de estudo e reflexão por parte da comunidade científica. São reconhecidas a existência de pelo menos quatro tipos de metodologias, três das quais são referentes a cartografia de risco estrutural (Salinero e Isabel 2004):

- i. Modelos qualitativos, de acordo com as ponderações desenhadas por especialistas;
- ii. Modelos quantitativos, baseados sobretudo na análise multicritério;
- iii. Modelos físicos, baseados na informação meteorológica ou em modelos de propagação de fogo.
- iv. Modelos de regressão e de redes neuronais, baseados na análise estatística;

Os modelos desenvolvidos com base nas duas primeiras metodologias apresentam elevado grau de subjectividade dado que a ponderação proposta para a integração de cada uma das variáveis consideradas (uso do solo, orografia, infra-estruturas, etc.) assenta sobretudo na opinião de especialistas nestas temáticas.

Nos modelos qualitativos, numa primeira fase elegem-se as variáveis de risco mais relevantes de acordo com a opinião de especialistas na área dos incêndios florestais. Numa segunda fase, a equipa de especialista estima a ponderação de cada uma das variáveis. Um dos métodos mais utilizados para levar a cabo esta tarefa é o recurso às tabelas cruzadas. Esta técnica implica a combinação de duas variáveis que, em resultado da sua conjugação, permite uma hierarquização, tendo em conta o comportamento de fogo que lhe está subjacente (Salinero e Isabel 2004).

Os modelos quantitativos, assentam na soma ponderada das diversas variáveis consideradas. A aplicação da metodologia implica a definição de dois grupos de pesos, o peso de cada variável e a subdivisão correspondente. O primeiro grupo relaciona a importância de cada variável relativamente à implicação na ocorrência e desenvolvimento do fenómeno e o segundo grupo permite o escalonamento de cada uma das variáveis. A hierarquização de cada variável poderá ser desenvolvida com recurso a simulações de comportamento de fogo em sistemas computacionais e/ou à opinião de especialistas. Contudo, não são métodos totalmente absolutos e detêm algum grau de subjectividade (Salinero e Isabel 2004).

Os modelos físicos têm normalmente por objectivo a construção de mapas de risco dinâmico, abarcando um conjunto de metodologias que permitem a integração de variáveis meteorológicas ou variáveis que dependem fortemente de parâmetros meteorológicos, por exemplo a humidade dos combustíveis (Salinero e Isabel 2004).

Os modelos baseados na análise estatística têm ganho grande relevância nos últimos anos tendo em conta o avanço significativo na integração de módulos de geoestatística em plataformas SIG. A análise estatística considera diversas metodologias que vão desde as redes neuronais artificiais, probabilidade bayesiana e análise de regressão (Salinero e Isabel 2004, Bergonse e Bidarra 2010).

Uma rede neuronal é um conjunto de processadores simples, capacitados com uma pequena quantidade de memória. Estes "nodos" estão conectados entre si através de canais de comunicação "conectores" que permitem a circulação de informação do tipo numérico, codificada de diversas formas. As redes neuronais tratam de simular os processos de aprendizagem levados a cabo no cérebro humano para estabelecer as relações entre um conjunto de dados de entrada e outros de saída. O sistema permite que partindo de um volume de informação suficiente e necessário para levar a cabo o processo de treino, a rede adquira a capacidade de generalização, permitindo a sua aplicação a outro conjunto de dados diferentes e o cálculo de novos resultados (Salinero e Isabel 2004).

O princípio da probabilidade bayesiana assenta na noção de que o grau de credibilidade associado a uma dada proposição, denominada hipótese, é condicionado por uma ou mais variáveis consideradas como tendo uma relação lógica com essa proposição. Abordagem algo diferente da perspectiva mais corrente, que define a probabilidade de ocorrência de um dado acontecimento a partir da observação da sua frequência relativa, numa sucessão numerosa de experiências teoricamente idênticas e independentes (Bergonse e Bidarra 2010).

A análise de regressão, de forma genérica, consiste numa aproximação quantitativa de risco, em que o peso das variáveis é definido mediante a aplicação de análises de regressão à escala local; a ocorrência dos incêndios é a variável dependente e o conjunto de variáveis de risco são as independentes. Os coeficientes da equação indicam os pesos de cada uma destas últimas na explicação da ocorrência de fogo (Salinero e Isabel 2004).

A regressão logística é particularmente vocacionada para fenómenos que detêm uma expressão em termos de presença/ausência, podendo portanto ser representados na forma de

variáveis binomiais. Este tipo de regressão, sendo algo mais flexível que a regressão linear clássica, permite ultrapassar a variabilidade que diversas variáveis apresentam e que contribuem para o risco de incêndio. A natureza dos dados permitida pela técnica tanto pode ser contínua como categórica, não sendo necessário seguir o princípio da normalidade. Contudo, o carácter binário (0/1) desta técnica implica que a sua utilização apenas permita calcular a ocorrência/não ocorrência de fogo (Salinero e Isabel 2004).

Esta técnica estatística permite obter uma função de probabilidade de ocorrência contínua em que os pesos de cada variável oscilam entre 0 e 1. Determinados sistemas permitem ainda obter o desvio da amostra para cada variável em estudo. A sua multiplicação pelos coeficientes respectivos da equação possibilita obter o desvio padrão. Quanto maior é o seu valor absoluto maior é a sua importância na solução final ou explicação do fenómeno (Salinero e Isabel 2004).

Num contexto regional, para o distrito de Castelo Branco, Bergonse e Bidarra (2010), procedeu à avaliação da susceptibilidade de ocorrência de Incêndios de Grande Magnitude (IGM), através da aplicação de duas técnicas, a probabilidade bayesiana e a regressão logística com posterior comparação de resultados.

A área ardida entre os anos de 1990 e 2001 foi utilizada como variável dependente, enquanto a área ardida entre os anos 2002 e 2007 foi utilizada como validação de resultados. Como variáveis independentes foram utilizados, a ocupação do solo CLC 2000 e o declive derivado do Modelo Digital de Terreno (MDT), a partir da altimetria da Carta Militar de Portugal à escala 1:25000 (IGeoE). A selecção destes dois temas fundamenta-se no facto de que são os que mais contribuem para a propagação de incêndios. Na aplicação da regressão logística foi gerada uma amostra aleatória de 1400 pontos, 700 dos quais dentro de área ardida.

A validação dos mapas finais conseguidos com recurso às duas técnicas foi desenvolvido através de curvas de predição. A sua análise revela que os resultados são relativamente semelhantes, ainda que na probabilidade bayesiana seja geralmente superior, ambas as técnicas são adequadas ao estudo do fenómeno dos incêndios. Porém deve-se salientar uma diferença importante entre os dois métodos: a probabilidade bayesiana foi aplicada a toda a informação de base, enquanto a regressão logística foi forçosamente influenciada pelas características da amostragem (Bergonse e Bidarra 2010).

3. Materiais e métodos

A metodologia desenvolvida neste estudo teve sempre como linha orientadora os objectivos propostos. Baseia-se nas metodologias utilizadas em Galán e López (2003), IGP (2007), Bergonse e Bidarra (2010), Salinero e Isabel (2004) e Ricardo (2010). Para uma melhor compreensão é apresentado um modelo conceptual com a enumeração e sequência das diversas etapas (Figura 1).

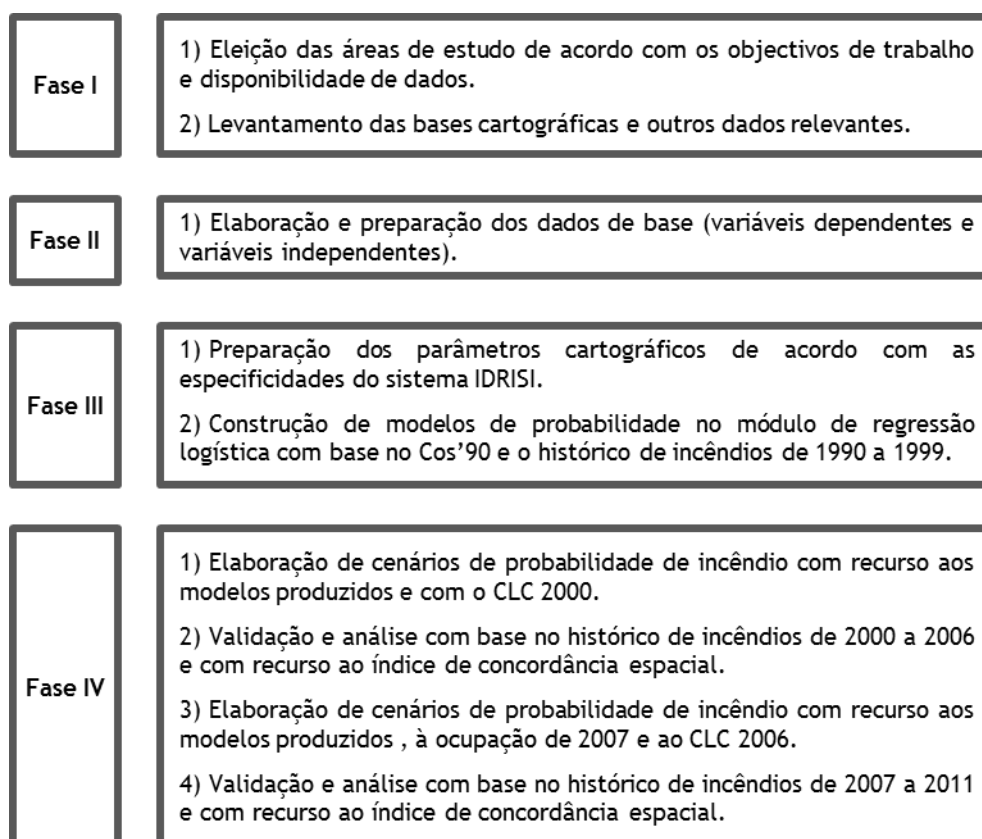


Figura 1 - Modelo conceptual de faseamento e sequência das diversas etapas do trabalho.

3.1 Caracterização das áreas de estudo

Os objectivos do presente trabalho implicaram a definição de duas áreas de estudo distintas em termos paisagísticos, bem como na suposta tipificação de incêndios florestais. Na selecção das áreas geográficas também foi tida em consideração a disponibilidade de dados de base relevantes aos propósitos metodológicos do trabalho. A proximidade geográfica de ambas as áreas de trabalho, cerca de 30 Km considerando os seus limites, também foi um factor a ter em conta (Figura 2). A relativa proximidade das áreas permite de alguma forma “isolar” o factor meteorologia, dado que à data da ocorrência dos incêndios em cada uma das áreas os diversos parâmetros meteorológicos deveriam ser relativamente semelhantes. É do domínio comum o papel inequívoco da meteorologia na ocorrência e propagação dos incêndios, ainda que o objectivo do presente trabalho seja o desenvolvimento de modelos de prevenção estrutural, os quais não consideram os diversos parâmetros meteorológicos.

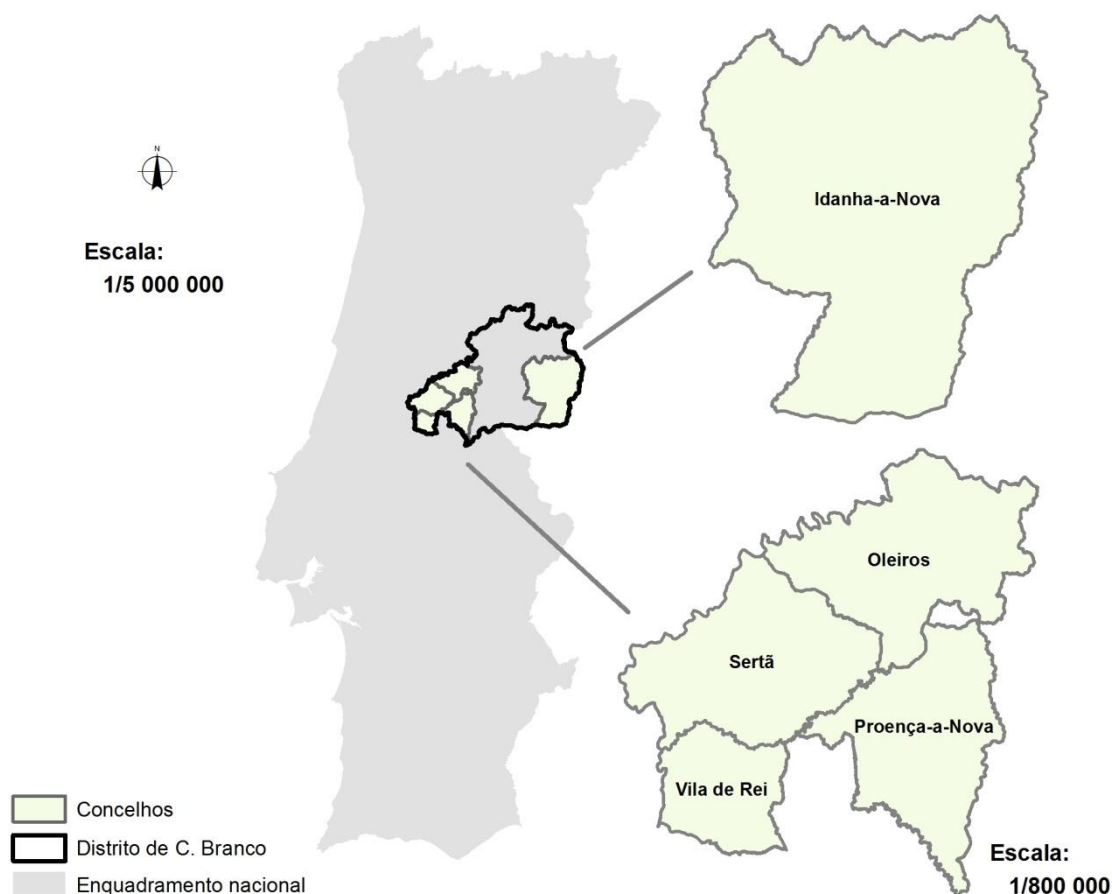


Figura 2 - Enquadramento geográfico da área de estudo.

O presente subcapítulo pretende desenvolver uma caracterização genérica das áreas de estudo sobre os parâmetros administrativos, físicos, meteorológicos, demográficos e de ocupação e uso do solo.

De acordo com os Limites Administrativos Oficiais de Portugal (IGP 2011), ambas as áreas geográficas ficam no distrito de Castelo Branco e na Nomenclatura de Unidade Territorial (NUT) de nível II, Centro. A área denominada para o presente trabalho de Pinhal Interior Sul, engloba os concelhos de Oleiros, Proença-a-Nova, Sertã e Vila de Rei, delimitação coincidente com a região NUT III, Pinhal Interior Sul e com uma área de 150 481 ha, de acordo com o Decreto-Lei n.º 244/02 e alterações introduzidas pela Lei n.º 21/10. A segunda área, denominada no presente trabalho de Idanha-a-Nova, coincide com o concelho de Idanha-a-Nova, faz parte da Beira Interior Sul, NUT III (Decreto-Lei n.º 244/02) e tem uma área de 141 638 ha.

Pinhal Interior Sul

A área do Pinhal Interior Sul, a nível hipsométrico situa-se entre as cotas 117 e 1090 m de altitude. A paisagem é dominada pelas Serras de Alvelos e Serra Vermelha que se desenvolvem entre os concelhos de Oleiros e Sertã e, a Serra do Muradal no quadrante Este do concelho de Oleiros.

A paisagem regional apresenta-se particularmente enrugada, onde cerca de 60% do território apresenta declives superiores a 20% e 17% declives superiores a 40%. No geral apresenta uma sucessão de cumeadas mais ou menos proeminentes, alternada com vales encaixados (Figura 3).

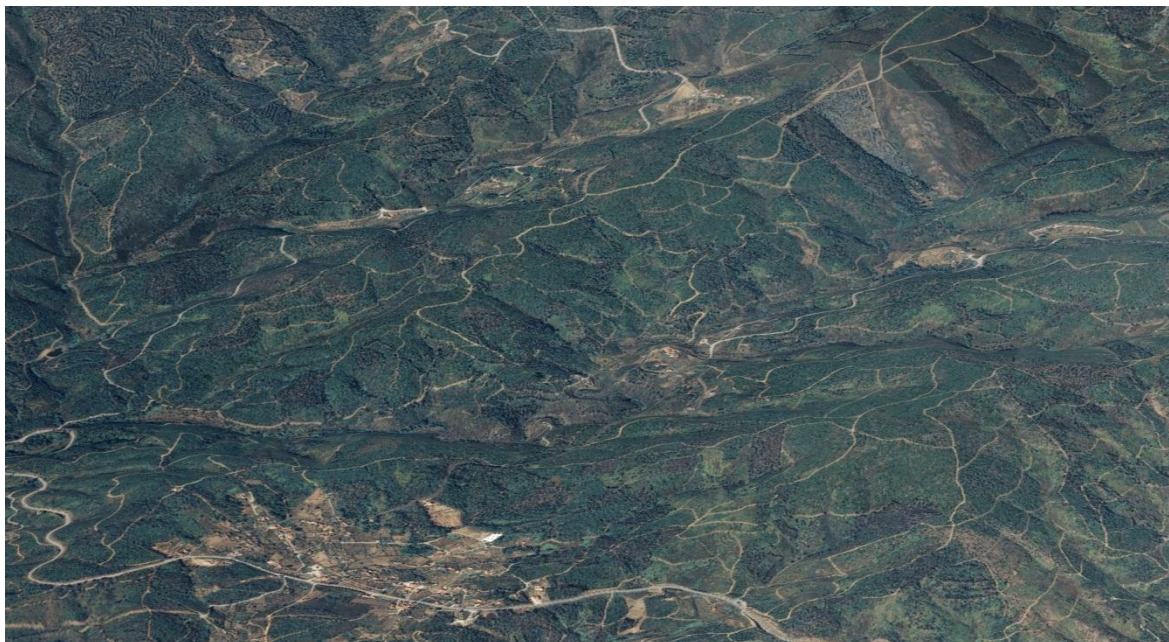


Figura 3 - Aspecto paisagístico da região do Pinhal Interior Sul, adaptado de fotografia aérea de 2005.

Uma orografia algo acidentada pressupõe consequências relevantes no comportamento e supressão dos incêndios florestais, na gestão de combustíveis principalmente em vales fechados e linhas de água, na construção e manutenção de acessos e na capacidade de deslocamento dos

meios de supressão terrestres ou aéreos. Uma orografia abrupta fomenta comportamentos de fogo extremo, quer devido aos declives acentuados e consequente efeito do pré-aquecimento dos combustíveis, quer pela canalização dos ventos dominantes originando fenómenos de ventos locais que provocam os denominados fogos de “chaminé” e que em algumas situações poderão assumir um comportamento eruptivo.

De igual modo as diferentes exposições marcam claramente a paisagem. Exposições ao quadrante Sul apresentam solos extremamente degradados, possivelmente devido à recorrência do fogo, bem como composições florísticas pobres e dominadas essencialmente pela esteva. Opostamente, exposições ao quadrante Norte apresentam cargas de combustíveis superiores, com coberto arbustivo e arbóreo mais diversificado e desenvolvido.

A hidrografia é dominada por dois rios, que fazem parte da grande bacia hidrográfica do Tejo. O rio Ocreza delimita a região a Este, no qual por sua vez desaguam a ribeira do Alvito, a ribeira da Froia, a ribeira da Sarzedinha e a ribeira da Pracana. Esta última dá nome à albufeira na qual desagua. Os quadrantes Norte e Oeste da região são delimitados pelo rio Zêzere, o qual ao longo do seu percurso forma as albufeiras do Cabril e da Bouça, sofrendo ainda a influência da albufeira de Castelo do Bode, no quadrante Sudoeste. Ao longo do seu percurso o Zêzere recebe ainda as seguintes ribeiras: Sertã, Amioso, Tamolha, Isna e de Codes. Na sua maioria, estas ribeiras apresentam um caudal sazonal.

De acordo com a ocupação do solo CLC 2006, a região é claramente dominada por espaços florestais, representando os povoamentos de eucalipto e pinheiro bravo, em conjunto, 30,1%. As manchas de regeneração natural de pinheiro bravo pós incêndio ocorrem em vastas extensões, em conjunto com as florestas degradadas e matos, representando cerca de 53,3%. Como referido anteriormente, nas estações com exposição ao quadrante Sul as composições florísticas são dominadas pela esteva, mas observa-se também a carqueja, a giesta, o tojo, a urze, entre outras. As áreas agrícolas com espaços naturais relevantes representam 7,8%, as áreas agrícolas efectivas representam 7,2% da área, onde domina o olival de sequeiro. Os aglomerados urbanos, na sua maioria dispersos, representam 0,5%, e as massas de água 1,1% da área.

A demografia na região do PIS tem diminuído e envelhecido significativamente segundo a análise dos dados dos censos de 1991 (INE 1996) e 2001 (INE 2002). De acordo com os dados dos censos de 2001, a população totaliza 36361 indivíduos, menos 4380 dos registados em 1991. O único grupo com subidas significativas é o dos indivíduos com mais de 64 anos, com cerca de 30%, mais 5,3% do valor registado em 1991.

De acordo com a análise dos dados sobre o histórico dos incêndios florestais, disponibilizados pela Autoridade Florestal Nacional (AFN), na região do Pinhal Interior Sul, nas últimas décadas, os incêndios têm sido o principal factor de declínio dos espaços florestais. Entre 1990 e 2011, existiram 2356 ocorrências que originaram 113873 ha de área percorrida por incêndio. De acordo com a Figura 4, pode ver-se que por cada série de cinco anos tem ardido sensivelmente entre os 10 mil e os 20 mil hectares, com excepção na série de 2000 a 2004 em que durante o Verão de 2003 arderam cerca de 62 mil hectares, ou seja, cerca de 41% da região.

Contrariamente, o número de ocorrências tem sido relativamente constante, entre 500 a 700 por cada 5 anos sensivelmente, mesmo durante o Verão de 2003, onde se verificou inclusive uma diminuição do número de ocorrências.

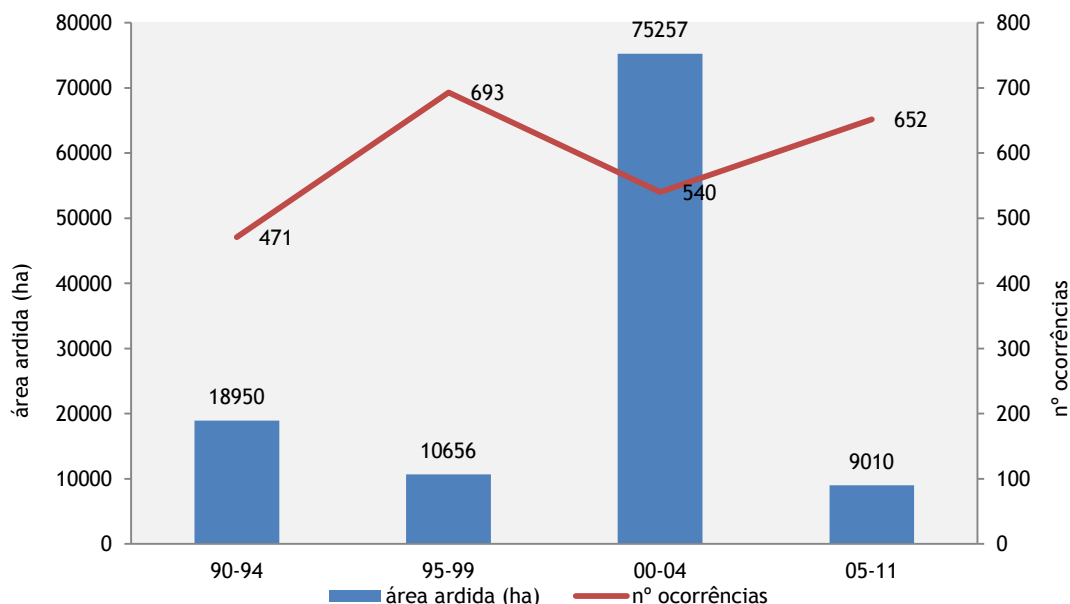


Figura 4 - Evolução da área percorrida por incêndio e número de ocorrências, na região do PIS.

Idanha-a-Nova

A área de Idanha-a-Nova apresenta uma orografia relativamente regular, cerca de 91% do território situa-se entre os 300 e 500 m, com a cota mais baixa a 90 m; as elevações mais significativas encontram-se no quadrante Nordeste, com as Serras da Cacheira, do Medronhal e da Gorda, esta última com o ponto mais elevado a 816 m.

Em consequência, o parâmetro do declive é pouco expressivo, com 81% do território apresentando inclinações inferiores a 20%. Os declives mais elevados localizam-se nas encostas das referidas serras e nas encostas que ladeiam as principais ribeiras e o rio Tejo. A ausência de um relevo proeminente fomenta incêndios de ventos, caracterizados por comportamentos de fogo extremamente rápidos e formando perímetros de fogo em forma de elipse, tipo “línguas”. No seguimento dos parâmetros anteriores, cerca de 40% do território não apresenta uma exposição dominante.

A região é delimitada a Sul pelo rio Tejo, no qual desaguam directamente o rio Ponsul, o rio Erges, a ribeira do Aravil e a ribeira da Devesa. O rio Ponsul atravessa a área Norte de Idanha-a-Nova formando no seu percurso as albufeiras de Penha Garcia e Santa Águeda, esta última recebe ainda o Rio Torto no quadrante Noroeste. O rio Erges delimita a região no quadrante Este com Espanha.

De acordo com o CLC 2006, a agricultura ocupa uma parte considerável da região, cerca de 38,2%, abrangendo áreas de regadio, culturas e olival de sequeiro. O coberto florestal por sua

vez também representa uma área extremamente importante. As plantações recentes de eucalipto, de pinheiro bravo, de sobro e azinho representam 16,8%, os montados de sobro e azinho ocupam 13,3%, os povoamentos adultos de pinheiro bravo e eucalipto 23,3% e por último as áreas de matos abrangem cerca de 7,6% do território. Os aglomerados urbanos localizam-se sobretudo no quadrante Norte da região e representam cerca de 0,3%. Os planos de água na forma de albufeiras de grande a média dimensão representam no seu conjunto 0,5%. No geral o aspecto paisagístico da região de Idanha-a-Nova apresenta-se como um espaço relativamente fracturado onde alternam áreas agrícolas, espaços agro-florestais e florestais, de pequena a grande dimensão, numa orografia relativamente plana (Figura 5).

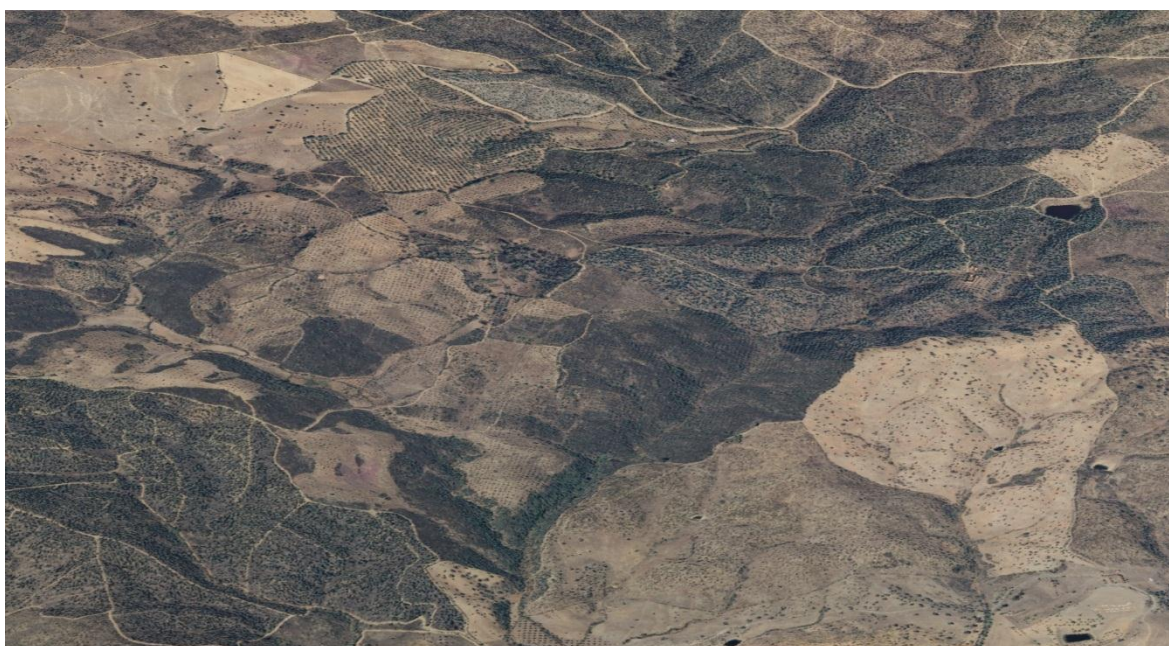


Figura 5 - Aspecto paisagístico da região de Idanha, adaptado de fotografia aérea de 2005.

A demografia na região de Idanha-a-Nova acompanha as tendências da região do PIS, quer ao nível da desertificação, quer de envelhecimento. De acordo com os dados do censo de 2001, a população soma 11659 indivíduos, menos 1971 do que no censo de 1991. O grupo etário com subidas mais significativas é o de mais de 64 anos, com cerca de 41%, mais 5,5% do que o valor registado em 1991.

Na região de Idanha-a-Nova os incêndios não têm a dimensão da área percorrida no PIS, ainda assim em igual período, 1990 a 2011, e de acordo com a mesma fonte, houve 1109 ocorrências em que arderam 26237 ha. Tal como na região do PIS, a série de anos 2000 a 2004 é a que apresenta uma maior área percorrida por incêndio, 18766 ha, essencialmente nos anos 2001, 2002 e 2003, segundo o histórico dos dados de base. As restantes séries apresentam áreas ardidas entre os 1000 e 2000 hectares. Inversamente, o número de ocorrências baixa drasticamente a partir da série de anos 95 - 99 (Figura 6).

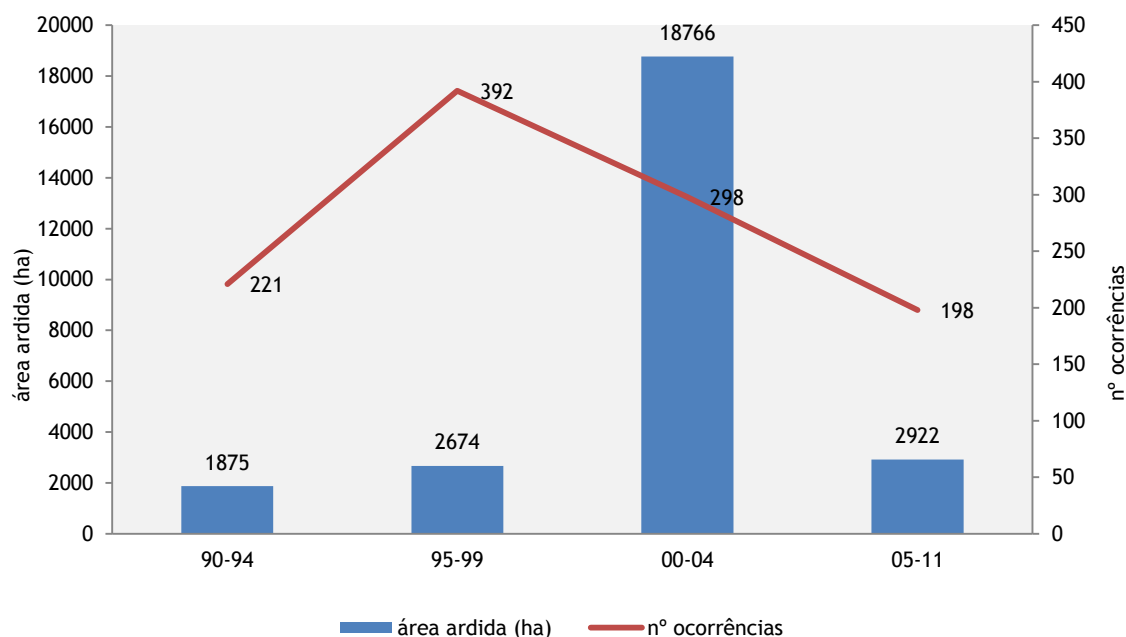


Figura 6 - Evolução da área percorrida por incêndio e número de ocorrências, na região do PIS.

Nas proximidades das áreas de estudo, Pinhal Interior Sul e Idanha-a-Nova, a única estação meteorológica com capacidade para disponibilizar dados é a Estação Meteorológica (EM) de Castelo Branco, localizada na periferia da cidade de Castelo Branco. Os dados apresentados são apenas relativos a essa estação e considerados como valores médios e de referência para o distrito de Castelo Branco.

No Quadro 1 são apresentados em síntese os valores disponibilizados pela referida estação, no período de observação de 1981 a 2010. Aqueles dados pretendem fazer uma comparação entre os valores médios anuais e os observados durante o período crítico. Embora o período crítico seja variável, é comumente aceite como sendo um período mais ou menos coincidente com a época estival (Julho, Agosto e Setembro), período em que estão reunidas as condições meteorológicas de maior probabilidade à ocorrência de incêndios nos espaços florestais.

Os valores observados no Quadro 1 explicam de alguma forma a maior propensão à ocorrência de incêndios durante o período crítico; os valores da temperatura média, máxima e mínima, aumentam substancialmente quando comparados com os valores médios anuais, ao passo que os valores da precipitação baixam substancialmente. Contudo, os valores tornam-se mais evidentes quando se observam os registos máximos e mínimos. No caso da temperatura foram registados valores máximos de 41,6 °C e na precipitação o mínimo de 8,1 mm, ambos durante o mês de Agosto. O aumento substancial da temperatura e a diminuição da precipitação eleva a disponibilidade imediata dos combustíveis finos e, consequentemente a velocidade de propagação do fogo. O prolongamento de temperaturas elevadas e a ausência mais ou menos prolongada de humidade aumentam a disponibilidade dos combustíveis de maior diâmetro (médios e grossos) fomentando essencialmente a intensidade de fogo, bem como a diminuição da efectividade dos meios de supressão.

Quadro 1 - Comparação de dados meteorológicos anuais e no período crítico.

Parâmetros meteorológicos	Anual	Período crítico (Jul./Ago./Set.)
Temp. média (°C)	15,9	24,9 / 24,8 / 21,4
Temp. média máxima (°C)	21,2	32,20 / 31,9 / 27,4
Temp. média mínima (°C)	10,5	17,6 / 17,5 / 15,3
Maior valor da temp. máxima (°C)	_____	40,8 / 41,6 / 40,2
Precipitação anual média (mm)	783,3	8,3 / 8,1/ 39,8

3.2 Bases cartográficas

O objectivo do trabalho determinou de certa forma a cartografia de base utilizada, bem como as suas características espaciais, as quais se passam a enumerar e a descrever:

1) Limites Administrativos Oficiais de Portugal - CAOP 2011, escala: 1:25 000, formato vetorial (IGP 2011);

2) Folhas n.º 254, 255, 257, 258, 259, 265, 266, 267, 269, 270, 271, 276, 277, 278, 279, 281, 282, 283, 288, 289, 290, 291, 293, 294, 295, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 306A, 311, 312, 313, 314, 315, 315A, 315B e 323 da Carta Militar de Portugal, escala 1:25 000, em formato *raster*, ano de recolha de dados, 1997 (IGeoE b);

3) Altimetria, curvas de nível em formato vetorial, equidistância de 10m, (folhas da Carta Militar de Portugal, 1:25 000, enumeradas anteriormente (IGeoE a);

4) Cos'90, Carta de Ocupação do Solo, em formato vetorial, escala 1:25 000, obtenção por fotografia aérea de 1990 (IGP 1990);

5) CLC 2000, CORINE Land Cover 2000, formato vetorial, escala 1:100 000, obtenção por imagem de satélite (IGP 2004);

6) CLC 2006, CORINE Land Cover 2006, formato vetorial, escala 1:100 000, obtenção por imagem de satélite (Caetano *et al.* 2009);

7) Ocupação do solo em formato vetorial derivada de ortofotomapa (voo: 2007), escala 1:25000. No caso da região do PIS apenas disponível 83% da área total de trabalho;

8) Rede viária, em formato vectorial, obtenção por ortofotomapa do voo de 2005 (Fonte: Gabinetes técnicos dos municípios de Idanha-a-Nova, Oleiros, Proença-a-Nova, Sertã e Vila de Rei);

9) Delimitação dos aglomerados urbanos, em formato vectorial, obtenção por ortofotomapa do voo de 2005 (Fonte: Gabinetes técnicos florestais dos municípios de Idanha-a-Nova, Oleiros, Proença-a-Nova, Sertã e Vila de Rei);

10) Rede de postos de vigia para detecção de incêndios florestais, formato vectorial (DGRF 2004);

11) Delimitação de áreas ardidas, formato vectorial (AFN 2012);

12) Fotografias aéreas de falsa cor, voo 1995, resolução espacial: 1 metro (IGP 1995).

3.3 Metodologia e estruturação da informação geográfica de base

Na primeira fase do trabalho foi efectuado a preparação das bases cartografias, para cada uma das áreas de estudo (Pinhal Interior Sul e Idanha-a-Nova), com recurso ao software ArcGIS 9.3 e as extensões *3D Analyst*, *Spatial Analyst* e *HawthsTools*, entre outras ferramentas disponíveis no sistema.

O modelo de regressão logística requer a utilização de uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes. As variáveis dependentes derivam do histórico de incêndios enquanto as variáveis independentes derivam da orografia, ocupação do solo e determinadas infra-estruturas, as quais pressupõem a interacção do homem com uma maior ou menor recorrência de incêndios local.

As variáveis dependentes, segundo alguns autores em estudos similares, têm como fonte directa os pontos de início que ocorreram numa determinada região e num determinado período de tempo. Contudo, as presentes áreas de trabalho carecem de um histórico exaustivo e sistemático, dos pontos de início dos incêndios ocorridos. O número de pontos, para cada uma das áreas foi então definido com base no número de incêndios ocorrido no período temporal (1990 - 1999) e com área ardida igual ou superior a um hectare, tendo em conta que apenas estes incêndios são susceptíveis de representação cartográfica. Nas áreas do Pinhal Interior Sul e Idanha-a-Nova foram contabilizados respectivamente 176 e 239.

Com recurso à ferramenta *Random Point Generation* disponível na extensão *HawthsTools*, a partir dos limites de incêndios (1990 - 1999) e dos números de pontos referidos anteriormente, foram construídas “nuvens” de pontos de tipo aleatório e em formato vectorial. O processo foi desenvolvido de forma idêntica para as áreas que não foram percorridas por incêndios em igual

período temporal. No Anexo I (Figura 1 e 2) pode observar-se os limites das áreas percorridas por incêndio utilizadas nas diversas fazes do trabalho.

O sistema IDRISI Andes é particularmente vocacionado para desenvolver rotinas de análise espacial em bases cartográficas de formato *raster*, pelo que as variáveis explicativas, independentemente do seu formato de origem têm de ser convertidas em formato matricial. A definição da resolução espacial de cada uma das bases cartográficas produzidas foi ponderada entre (um dos objectivos do trabalho) a produção de cartografia final compatível com a escala 1:25 000 (Hengl 2006) e a capacidade de processamento disponível, assim a “dimensão ideal” do *pixel* foi definida em 30 m.

A metodologia seleccionada implicou o escalonamento de cada uma das bases cartográficas em subclasses de acordo com a sua susceptibilidade ao fogo. Como regra para o presente trabalho e tendo como suporte metodológico a proposta do IGP (2007), a reclassificação das subclasses de cada uma das bases temáticas foi de “1” a “n”, em que “1” significa menor propensão ao fogo e “n” maior propensão ao fenómeno.

O processo de construção das coberturas declive, exposição e altimetria foram conseguidos com recurso à decomposição de um Modelo Digital de Terreno (MDT). O MDT foi construído a partir das curvas de nível em formato vetorial, com uma equidistância de 10 m. O processo de construção implicou a utilização das ferramentas disponíveis na extensão 3D *Analyst*. A reclassificação de cada um dos parâmetros foi definida de “1” a “n” de acordo com o exposto anteriormente, e que se pode observar no Quadro 2 e no Anexo I (Figura 3 - 8).

Quadro 2 - Reclassificação das classes altimétricas, declive e exposições.

Subclasses	Classes altimétricas	Classes de declive	Classes de exposição
1	≤ 200	0 - 10%	N
2	200 - 300	10 - 20%	NO e NE
3	300 - 400	20 - 30%	O e E
4	400 - 500	30 - 40%	SO e SE
5	500 - 600	≥ 40%	Zona plana
6	600 - 700		S
7	700 - 800		
8	800 - 900		
9	900 - 1000		
10	≥ 1000		

Se é reconhecida a importância do declive e da exposição no comportamento fogo, quer pelo pré-aquecimento e canalização dos ventos locais, quer pela dessecação acentuada dos combustíveis, a altimetria assume a maior relevância tendo em conta que áreas localizadas a maiores altitudes estão naturalmente mais expostas aos ventos dominantes, formando fogos mais rápidos e com maior capacidade de emissão de fogos secundários (Castellà e Almirall 2005).

As bases cartográficas de ocupação e uso do solo, o Cos'90, a CLC 2000, a CLC 2006 e a ocupação 2007, foram alvo de especial estudo e reflexão, não só pelo peso decisivo que os diversos tipos de combustíveis possuem na deflagração e comportamento do fogo, mas também na forma de garantir a maior equidade entre as diversas bases temáticas utilizadas durante as diversas fases do trabalho. Assim, as subclasses de cada uma das bases de ocupação do solo foram estruturadas e reclassificadas em seis subclasses, de acordo com a sua propensão ao fogo (Quadro 3). O procedimento de reclassificação foi efectuado com recurso à ferramenta *Reclassify*, disponível na extensão *Spatial Analyst*. A estruturação das seis classes foi baseada na metodologia proposta por IGP (2007) e Cruz (2005), de acordo com o Anexo I (Figura 9 - 15).

A ocupação Cos'90 apresentou algumas lacunas quanto à total cobertura tanto na região do PIS como na região de Idanha. Em ambas as situações o procedimento foi completar a informação em falta através da fotointerpretação com base em fotografias aéreas de 1995, utilizando a codificação preestabelecida na metodologia Cos'90 e ainda tendo em consideração os objectivos do presente trabalho.

Quadro 3 - Reclassificação das bases cartográficas de ocupação do solo.

Subclasses	Descritores
1	Zonas húmidas e urbano consolidado
2	Urbano não consolidado
3	Área agrícola
4	Folhosas (não eucalipto), agro-florestal e pastagens permanentes de sequeiro
5	Povoamentos de pinheiro bravo e eucalipto
6	Matos e florestas degradadas

A base cartográfica, rede viária, foi decomposta em dois parâmetros de acordo com a sua reconhecida dupla interacção sobre incêndios florestais. Uma maior densidade de rede viária permite um deslocamento mais rápido para as frentes de incêndio, bem como, a disponibilidade de mais oportunidades de supressão efectiva. Contudo, áreas florestais nas proximidades da rede viária são mais susceptíveis de serem percorridas pelo fogo, tendo em conta, que muitos dos incêndios deflagram junto a estas infra-estruturas (IGP 2007).

A partir da rede viária foram construídos dois parâmetros de entrada, a densidade de rede viária com recurso à ferramenta *Line Density*, bem como a proximidade à rede viária com recurso à ferramenta *Euclidean Distance*, ambas disponíveis na extensão *Spatial Analyst* de acordo com o Quadro 4. Os temas cartográficos assim produzidos para ambas as regiões de estudo encontram-se no Anexo I (Figura 16 - 19)

A base cartográfica de aglomerados urbanos foi alvo de um tratamento algo semelhante ao parâmetro anterior, tendo em conta que muitos dos incêndios tem origem na interacção do Homem com o meio e, claro, mais incidente no que lhe está mais próximo. Os espaços florestais

foram escalonados segundo a sua proximidade aos aglomerados urbanos, com recurso à ferramenta *Euclidean Distance*, também de acordo com o Quadro 4. O tema cartográfico encontra-se no Anexo I (Figura 20 e 21).

Quadro 4 - Reclassificação da densidade e proximidade à rede viária e proximidade a aglomerados urbanos.

Subclasses	Densidade de rede viária	Proximidade à rede viária	Proximidade a aglomerados urbanos
1	20 - 40 m/ha	> 150 m	> 150 m
2	12 - 20 / 40 - 65 m/ha	100 - 150 m	100 - 150 m
3	5 - 12 / 65 - 80 m/ha	50 - 100 m	50 - 100 m
4	< 5 m/ha	25 - 50 m	25 - 50 m
5	> 80 m/ha	< 25 m	< 25 m

A rede de postos de vigia de detecção de incêndios florestais, como a designação sugere, são infra-estruturas que tem como principal função a detecção de fogos, contudo também são utilizados frequentemente como meio de acompanhamento da evolução de determinados incêndios e como apoio à gestão de meios e recursos disponíveis à sua supressão. Daqui decorre que locais que sejam observáveis da rede de postos de vigia apresentem uma menor probabilidade de serem percorridos pelo fogo.

O procedimento de escalonamento de áreas de visibilidade assentou na utilização da ferramenta Viewshed, disponível na extensão 3D Analyst. O modelo de construção necessita do MDT, já referido anteriormente, bem como da localização espacial dos postos de vigia, da altura de cada um dos postos ou a sua altura média, a altura de mirada e a efectividade da mirada no horizonte, que para o caso concreto é de 30 000 m, de acordo com IGP (2003). A reclassificação das bacias de visibilidade compreende a diferenciação entre áreas visíveis e não visíveis, assim como uma área visível por 2 ou mais postos, dado que possibilita a triangulação espacial e a localização mais ou menos exacta da coluna de fumo, de acordo com o Quadro 5. Os parâmetros cartográficos produzidos segundo a metodologia apresentada anteriormente encontram-se no Anexo I (Figura 22 e 23).

A tarefa seguinte, após a construção e reclassificação de cada um dos parâmetros cartográficos, foi a sua conversão num formato lido pelo sistema IDRISI. O formato seleccionado foi o ASCII, que é um formato *standard*, lido pela maioria dos sistemas SIG, reconhecido pela manutenção da integridade geográfica e espacial, dos ficheiros matriciais utilizados. Este procedimento foi efectuado através da ferramenta “*Raster to ASCII*”.

Quadro 5 - Reclassificação das áreas de visibilidade.

Subclasses	Descritores
1	Visível por 2 ou mais postos de vigia
2	Visível por 1 posto de vigia
3	Área oculta

3.4 Construção de modelos de probabilidade de ocorrência de incêndio florestal

Um modelo de regressão logística tem por objectivo encontrar a melhor combinação linear de variáveis, que maximize a verosimilhança de obter as frequências observadas na amostra, de forma a fazer previsões e classificar novas situações. O modelo aplica-se quando se pretende explicar uma variável resposta Y de natureza nominal ou ordinal, em função de variáveis explicativas X , as quais podem ser nominais, ordinais ou contínuas (Pestana e Gageiro 2009). Isto é, quando se pretende obter um modelo matemático que permita relacionar determinadas variáveis independentes ou explicativas com uma determinada variável dependente (Galán e López 2003).

A regressão logística inclui-se nos designados modelos lineares generalizados, que são extensões do modelo linear clássico, em que o preditor linear η relaciona-se com o valor esperado μ da variável resposta y por meio de uma função g designada função de ligação (Hosmer e Lemeshow 2000).

De acordo Galán e López (2003) a regressão logística incorpora três componentes, a aleatória, a sistemática e a de ligação, o *logit*:

- I) A componente aleatória identifica a variável dependente (Y) ou de resposta binária com distribuição de probabilidade binomial;
- II) A componente sistemática especifica as variáveis independentes ou explicativas (X), quer sejam contínuas ou qualitativas (categóricas) e são introduzidas no modelo de forma linear;
- III) A componente de ligação $g(p)$, monótona e diferenciável, que descreve a relação funcional entre p e as variáveis explicativas. O p é o valor esperado da variável Y que representa a probabilidade de ocorrência, a qual varia entre 0 e 1.

No modelo de regressão logística a função de ligação é também designada por *logit* ou *log do odds*, dado na equação:

$$\text{logit}(p) = g(p) = \left(\frac{p}{1-p} \right) \quad (1)$$

Variáveis da equação:

p : probabilidade da ocorrência da variável dependente

g : função de ligação entre p e as variáveis explicativas

Como p é uma probabilidade então $\left(\frac{p}{1-p} \right)$ representa o *odds* ou hipótese de determinado fenómeno ou evento ocorrer.

A regressão logística, na sua versão mais simples corresponde ao modelo com apenas uma variável explicativa, em que a variável resposta é binária. A função de ligação é o *logit* e toma a seguinte forma:

$$\text{logit}(p) = \left(\frac{p}{1-p} \right) = \beta_1 + \beta_2 X_2 \quad (2)$$

Variáveis da equação:

p : probabilidade da ocorrência da variável dependente

β_1 : primeiro valor que traduz uma variável explicativa contínua ou artificial

β_2 : valor que traduz o peso da variável independente na ocorrência do fenómeno

X_2 : variável independente

Quando a expressão é rescrita em ordem a p obtém-se a seguinte expressão:

$$p = \frac{e^{\beta_1 + \beta_2 X_2}}{1 + e^{\beta_1 + \beta_2 X_2}} \quad (3)$$

Variáveis da equação:

p : probabilidade da ocorrência da variável dependente

e : exponencial

β_1 : primeiro valor que traduz uma variável explicativa contínua ou artificial

β_2 : valor que traduz o peso da variável independente na ocorrência do fenómeno

X_2 : variável independente

Ao pretender observar a probabilidade de ocorrência de incêndio florestal, a regressão logística estabelece que P é a probabilidade de ocorrência do fenómeno estudado, com um valor entre 0 e 1, sendo Y a variável dependente, X_i as variáveis independentes e α e β_i os respectivos coeficientes de regressão (Galán e López 2003).

$$P(Y = 1) = \frac{\exp(\sum \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots \beta_3 X_3)}{1 + \exp(\sum \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots \beta_3 X_3)} \quad (4)$$

Variáveis da equação:

P : probabilidade

Y : variável dependente

X : variável independente

β : coeficiente da equação

α : coeficiente da equação

exp: exponencial

O sistema computacional IDRISI Andes dispõe de um módulo estatístico, o qual disponibiliza uma ferramenta de análise espacial com o modelo de regressão logística. Contudo o sistema apenas desenvolve rotinas de análise com bases cartográficas em formatos IDRISI, sejam ficheiros matriciais ou vectoriais. Portanto, o primeiro passo é a importação de acordo com as especificidades do sistema, das diversas variáveis dependentes e independentes consideradas no capítulo 3.3. O procedimento pode ser desenvolvido de forma expedita através das ferramentas de importação específicas para ficheiros em formato ESRI. No presente trabalho, o conjunto de variáveis referentes a cada uma das áreas de estudo corresponderam a dois projectos distintos.

Uma das especificidades do sistema IDRISI relativamente ao sistema ArcGIS, implicou que se desenvolvesse uma reclassificação dos ficheiros matriciais. No sistema ArcGIS as células com o valor *NoData* correspondem ao valor “-9999”, enquanto no sistema IDRISI corresponde a valor “0”, pelo que é absolutamente necessário desenvolver uma reclassificação de todos os temas matriciais envolvidos, de modo a não existirem quaisquer perturbações nas rotinas de cálculo e análise espacial.

A rotina de cálculo do modelo de regressão logística é desenvolvida através de uma *interface* disponível para o efeito, no módulo de estatística do sistema IDRISI (Figura 7). A variável dependente que corresponde ao ficheiro de pontos em área percorrida por incêndio tem de ser previamente convertida em raster, com a especificação “*Change cells to record the presence of 1 or more points*”. As diversas variáveis independentes podem entrar “uma a uma” ou num único ficheiro de formato interno, o qual permite englobar as diversas variáveis consideradas numa única estrutura de análise, conseguido através da ferramenta *Collection edito*. Esta segunda opção foi a utilizada para o desenvolvimento do presente trabalho.

A opção “*Use mask*”, absolutamente necessária para a construção dos modelos em causa, usa o ficheiro resultante da junção dos ficheiros de pontos em área ardida e área não ardida. O ficheiro referido resulta do cálculo através da ferramenta *OVERLAY* com a opção de “*First covers Second except where zero*”, em que o primeiro corresponde ao ficheiro de pontos localizado em área ardida e, o segundo naturalmente, aos pontos em área não ardida.

O *output* do cálculo desenvolvido corresponde a um ficheiro de texto com a equação de regressão, os coeficientes de cada variável e os respectivos valores de desvio padrão das amostras. Quanto maior for o valor absoluto do produto dos coeficientes pelos respectivos desvios padrão da amostra, maior é a importância da variável explicativa na ocorrência do fenómeno (Galán e López 2003).

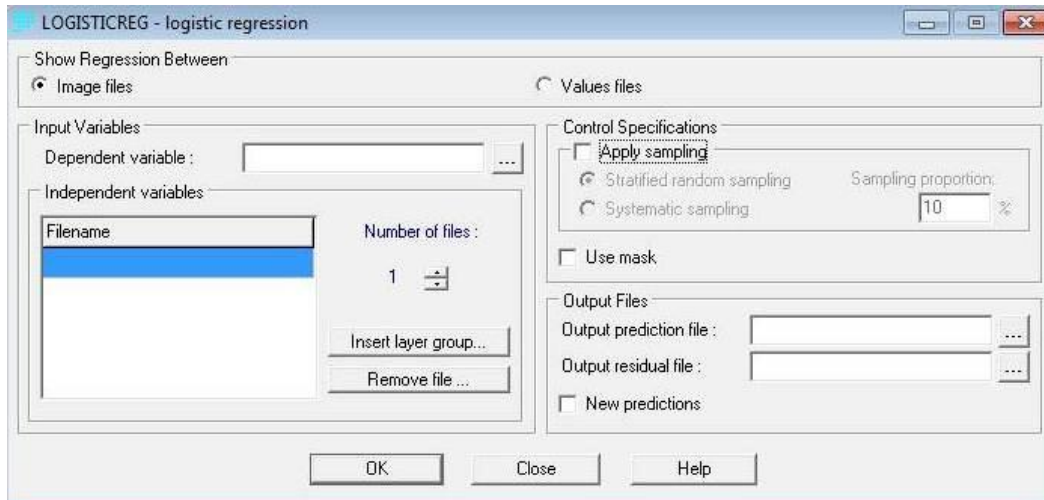


Figura 7 - Interface para cálculo da regressão logística.

A probabilidade de ocorrência de incêndio florestal é por fim calculada, através da substituição das diversas variáveis independentes na equação.

$$\text{Probabilidade (ocorrência de incêndio)} = \frac{\exp(\sum \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots \beta_3 X_3)}{1 + \exp(\sum \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots \beta_3 X_3)} \quad (5)$$

Variáveis da equação:

exp: exponencial

α : coeficiente da equação

β : coeficiente da equação, de 1 a n

χ : variável independente, de 1 a n

O output referido anteriormente disponibiliza dois parâmetros que pretendem medir o ajuste dos modelos de uma forma mais ou menos expedita, o Pseudo R^2 e o Receiver Operating Characteristic (ROC). O Pseudo R^2 , é o resultado da fracção entre a soma dos erros quadrados do modelo ajustado, com as respectivas variáveis dependentes e independentes e a soma dos quadrados do modelo nulo, ou seja, apenas com a variável dependente e sem qualquer variável independente. O Pseudo R^2 permite avaliar a capacidade do ajuste dos modelos logísticos, varia numa escala de 0 a 1, sendo considerados bons valores de ajuste iguais ou superiores a 0,2 (Hosmer e Lemeshow 2000).

A ROC é uma curva representada graficamente por x e y, utilizada para medir e especificar o desempenho de testes de diagnósticos, em que os valores variam entre 0 e 1. Em gráfico, o x exprime a Especificidade e o y a Sensibilidade, ou seja, a curva ROC informa sobre a variação da sensibilidade e da especificidade de determinado modelo. Valores inferiores a 0,5 indicam ajustes aleatórios, enquanto valores superiores, ajustes perfeitos (Hosmer e Lemeshow 2000).

3.5 Validação dos modelos e elaboração de cenários de ocorrência de incêndio florestal

A validação dos modelos é uma fase fundamental da modelação, pois só através dos seus resultados se conseguem avaliar em concreto a aderência e especificidade de determinado modelo à área de trabalho correspondente. Uma fase de validação pressupõe a comparação dos cenários propostos pelo modelo, considerando determinado período temporal e a ocupação do solo correspondente, com as áreas percorridas por incêndio que efectivamente ocorreram durante um espaço de tempo considerado.

A validação dos modelos no presente trabalho foi desenvolvida em dois períodos temporais distintos, tendo em conta a disponibilidade das bases cartográficas necessárias. O primeiro período considerou o histórico de incêndios de 2000 a 2006 e a ocupação e uso do solo CLC 2000. O segundo período considerou o histórico de incêndios de 2007 a 2011 e a ocupação de 2007 (Anexo I - Figura 1 e 2). No caso da região do PIS, devido à não disponibilidade da ocupação de 2007 para a totalidade da área (disponibilidade de cerca de 83%), considerou-se também a utilização da cobertura CLC 2006.

Face a uma suposta perda de rigor resultante da utilização da ocupação CLC 2006, efectuou-se um teste considerando ambas as coberturas em dois cenários distintos. Assim, foram produzidos para o mesmo espaço temporal de ocorrência de incêndios (2007 - 2011) dois cenários de probabilidade de incêndio. Um cenário considerando apenas a ocupação de 2007 e um segundo cenário considerando a fusão da ocupação de 2007 e o CLC 2006.

A reclassificação de cada uma das coberturas de ocupação em seis classes, de acordo com a sua propensão ao fogo já é uma generalização à escala regional, contudo, aplicou-se a ferramenta *combine* disponível no sistema ArcGIS 9.3. Esta ferramenta aplicada a ficheiros em formato *raster*, permite obter um ficheiro a partir de dois ou mais ficheiros base, bem como uma tabela associada com a quantificação relativa à combinação da codificação proveniente das fontes de dados utilizadas.

A aplicação de uma rotina de validação pressupõe, numa primeira fase, a construção dos cenários espectáveis de acordo com os modelos conseguidos, classificados posteriormente em quintis, ou seja cinco classes de probabilidade, de acordo com a metodologia observada em Verde e Zêzere (2007) e como estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 124/06 e redacção conferida com o Decreto-Lei n.º 17/09. Numa segunda fase, pressupôs-se a análise dos cenários obtidos em comparação com as áreas efectivamente percorridas por incêndio, previamente estruturadas de acordo com as classes de probabilidade de ocorrência correspondentes.

Em fase posterior, a metodologia de validação assentou igualmente na adaptação de um índice de desempenho ou de concordância espacial, proposto por Bates e Roo (2000). O índice com a devida adaptação ao presente trabalho e considerando os períodos de histórico de incêndios referidos anteriormente, permite obter a razão entre a intersecção do histórico considerado e as classes com maior potencial para serem percorridas por incêndio (média, alta e

muito alta) e, mais uma vez o histórico considerado. Os valores iguais ou superiores a 60% indicam uma boa concordância dos modelos testados.

4. Resultados

4.1 Modelos de probabilidade de ocorrência de incêndio

A metodologia seguida observou a correlação das diversas variáveis independentes ou explicativas, numa abordagem de presença/ausência, com a variável dependente, as áreas ardidas. A metodologia da regressão logística permitiu o cálculo de uma equação matemática ou modelo de probabilidade de ocorrência do incêndio florestal. O modelo não é mais que a conjugação dos diversos contributos em formato quantitativo de cada variável independente para o aparecimento do fenómeno fogo. Cada modelo pressupõe uma especificidade regional de acordo com os parâmetros (físicos, ocupação ou origem humana) que possam mais ou menos interferir na ocorrência e propagação do fenómeno.

Modelo de probabilidade de ocorrência de incêndio elaborado para a região do PIS.

(6)

Probabilidade de incêndio florestal, PIS = - 11,9810 + 1,073327 x ocupação do solo + 0,805919 x declive + 0,188025 x exposição + 0,133514 x altimetria + 0,681790 x distancia à rede viária + 0,053911 x densidade de rede viária - 0,295402 x distancia aos aglomerados populacionais + 0,066949 x visibilidade dos postos de vigia

O Quadro 6 teve como fonte os outputs disponibilizados pelo sistema IDRISI durante o cálculo do modelo de probabilidade de ocorrência de incêndio para a região do PIS (Anexo II). A multiplicação dos coeficientes de cada variável pelos valores do desvio padrão da amostra correspondentes permite obter o valor dos coeficientes padrão. De acordo com Galán e López 2003, quanto maior o valor absoluto dos coeficientes maior é a importância da variável na solução da equação.

Quadro 6 - Contributo de cada variável no modelo de probabilidade para o PIS.

Variáveis independentes	Coefficientes da equação	Desvio padrão da amostra	Coefficiente padrão
Ocupação do solo	1,073327	1,711618	1,837126
Declive	0,805919	1,364388	1,099586
Exposição	0,188025	1,869987	0,351604
Altimetria	0,133514	1,855571	0,247745
Distancia à rede viária	0,681790	1,303762	0,888892
Densidade da rede viária	0,053911	0,828000	0,044638
Dist. aos aglo. populacionais	0,295402	0,712525	0,210481
Visib. dos post. de vigia	0,066949	0,525538	0,035184

Na região do PIS as variáveis, ocupação do solo, declive e distância à rede viária são as mais importantes, ao passo que as variáveis com menor importância na ocorrência do fenómeno são a visibilidade dos postos de vigia e a densidade da rede viária.

Modelo de probabilidade de ocorrência de incêndio elaborado para a região de Idanha-a-Nova.

(7)

Probabilidade de incêndio florestal, Idanha-a-Nova = - 1,7374 + 1,884788 x ocupação do solo + 0,101146 x declive + 0,051077 x exposição + 0,003684 x altimetria + 0,509471 x distancia à rede viária + 0,433405 x densidade de rede viária + 0,278344 x visibilidade dos postos de vigia - 7,155037 x distancia aos aglomerados populacionais

De acordo com o Quadro 7, na região de Idanha-a-Nova, as variáveis distância aos aglomerados urbanos e ocupação do solo, são as mais importantes e as com menor importância na ocorrência e na propagação do fenómeno são o declive, a exposição e altimetria (Anexo III).

Quadro 7 - Contributo de cada variável no modelo de probabilidade para Idanha-a-Nova.

Variáveis independentes	Coefficientes	Desvio padrão da amostra	Coefficiente padrão
Ocupação do solo	1,884788	0,876007	1,651087
Declive	0,101146	1,062218	0,107439
Exposição	0,051077	2,157801	0,110214
Altimetria	0,003684	1,029424	0,003792
Distancia à rede viária	0,509471	0,845711	0,430865
Densidade da rede viária	0,433405	0,488511	0,211723
Dist. aos aglo. populacionais	7,155037	0,269507	1,928333
Visib. dos post. de vigia	0,278344	0,856594	0,238428

A Figura 8 permite a comparação dos respectivos coeficientes padrão para cada uma das regiões, PIS e Idanha-a-Nova. Em ambas as regiões a ocupação do solo é sem dúvida a variável com maior importância. Como referido anteriormente, na região do PIS o declive e a distância à rede viária parecem ser as variáveis mais importantes a seguir à ocupação. Na região de Idanha-a-Nova, para além da ocupação do solo, também a distância aos aglomerados urbanos se destaca como uma variável com importância na equação.

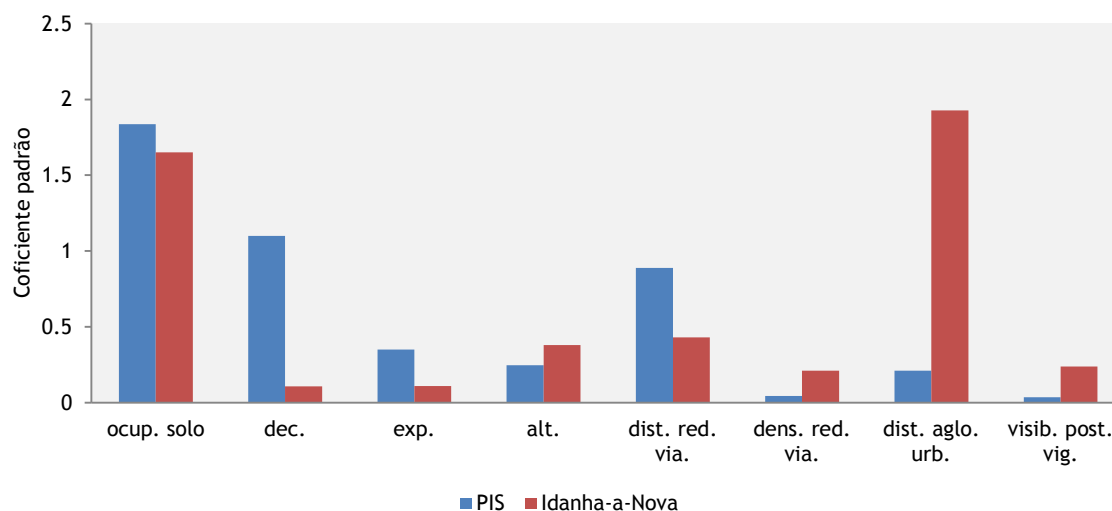


Figura 8 - Coeficientes padronizados para as regiões do PIS e Idanha-a-Nova.

De acordo com o Quadro 8, os valores do Pseudo R^2 e ROC conseguidos, respectivamente, por ambos os modelos representativos das regiões PIS e Idanha-a-Nova apresentam resultados superiores a 0,2, no caso do primeiro parâmetro e acima de 0,5 para o segundo parâmetro. Ambos os parâmetros apresentam, ainda, valores relativamente homogêneos entre si, o que pressupõe níveis de ajustamento relativamente idênticos nos modelos conseguidos em ambas as regiões.

Quadro 8 - Quantificação do ajuste dos modelos.

Parâmetros de ajustamento	PIS	Idanha-a-Nova
Pseudo R^2	0.3476	0.3318
ROC	0.8627	0.8528

Modelos com valores de Pseudo R^2 e ROC mais elevados correspondem, supostamente, a modelos mais ajustados à realidade. Após os diversos testes desenvolvidos durante o cálculo dos modelos, pode referir-se que os valores mais elevados de Pseudo R^2 e ROC obtêm-se quando se produzem “nuvens” de pontos essencialmente em zonas com maior susceptibilidade ao fogo, como áreas de matos e florestais. De referir que as “nuvens” de pontos resultaram do cálculo efectuado pela metodologia exposta no subcapítulo 3.3.

4.2 Cenários de probabilidade de incêndio

A fase de validação dos modelos de probabilidade de ocorrência e propagação é uma fase fundamental e crucial em qualquer abordagem de modelação de probabilidade de incêndio florestal. Um procedimento de validação espacial permite definir um grau quantitativo de probabilidade espacial na ocorrência do fenómeno dos incêndios.

A aplicação do modelo de probabilidade de ocorrência de incêndio para a região do PIS, considerando a ocupação de referência CLC 2000, permitiu construir o cenário apresentado na Figura 9 e Anexo IV (Figura 24). A aplicação da metodologia de classificação em quintis de acordo com Verde e Zêzere (2007) propõe uma distribuição em cinco classes de amostragem, com a estruturação dos dados em cinco classes relativamente homogêneas.

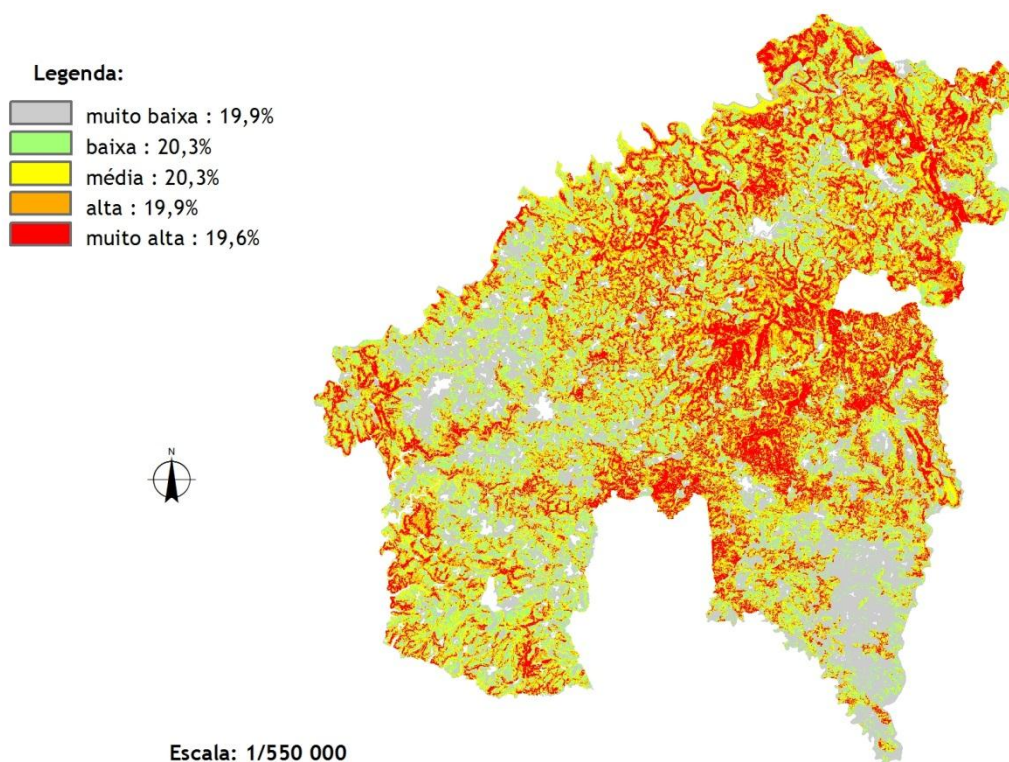


Figura 9 - Cenário de probabilidade de ocorrência de incêndio na região do PIS, com ocupação CLC 2000.

O cenário apresentado na Figura 9, tendo como base de comparação as diversas cartografias de base utilizadas e os contributos de cada variável (Quadro 6), evidencia uma forte relação das classes de probabilidade “alta” e “muito alta” com a ocupação e uso do solo, bem como com os diversos parâmetros orográficos dos quais se destaca o declive.

A análise espacial do cenário de probabilidade de incêndio com a ocupação de referência CLC 2000 (Figura 9), pela área ardida compreendida entre 2000 e 2006 permitiu obter o mapa exposto na Figura 10. Este mapa permite observar que a área ardida ocorreu sobretudo nas

classes “média”, “alta” e “muito alta”, que quando consideradas em conjunto somam 66% da área que foi efectivamente percorrida por incêndio, observar o Anexo IV (Figura 25).

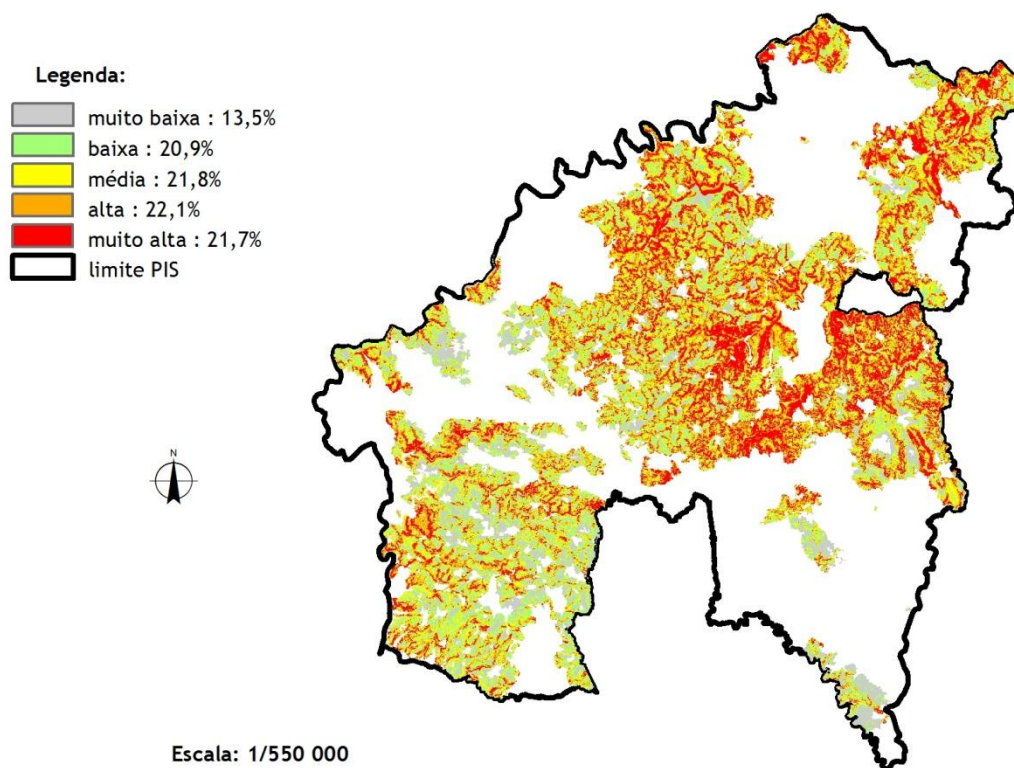


Figura 10 - Distribuição espacial do cenário de probabilidade de incêndio (CLC 2000) com a área ardida 2000 - 2006.

A Figura 11 compara a distribuição das cinco classes de probabilidade no cenário de probabilidade de incêndio (CLC 2000) e a sua distribuição em área ardida efectiva. É evidente uma maior concentração da área ardida nas classes de probabilidade “baixa”, “média”, “alta” e “muito alta”; opostamente, a classe de probabilidade com menor área percorrida por incêndio é a “muito baixa”.

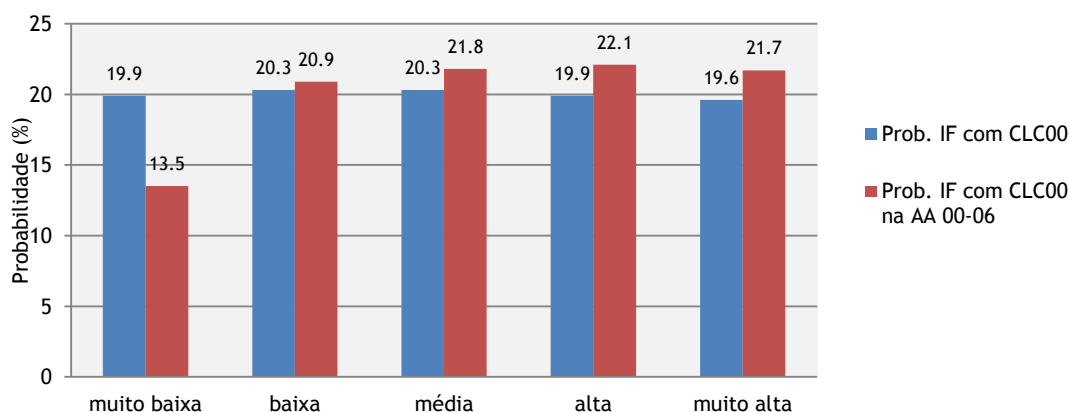


Figura 11 - Cenário de probabilidade de incêndio florestal com ocupação CLC2000 na área ardida (AA) 2000-2006.

O segundo momento de validação na região PIS, como já referido anteriormente, observou dois cenários distintos. O cenário com a ocupação de 2007 e o cenário com a ocupação 2007 combinada com a CLC 2006, bem como a área ardida entre 2007 e 2011.

O cenário exposto na Figura 12 coincide de alguma forma com o anterior, ou seja, as classes “alta” e “muito alta” apresentam uma forte correlação com a ocupação do solo, mas também com os diversos parâmetros orográficos, sobretudo com o declive, observar o Anexo IV (Figura 26).

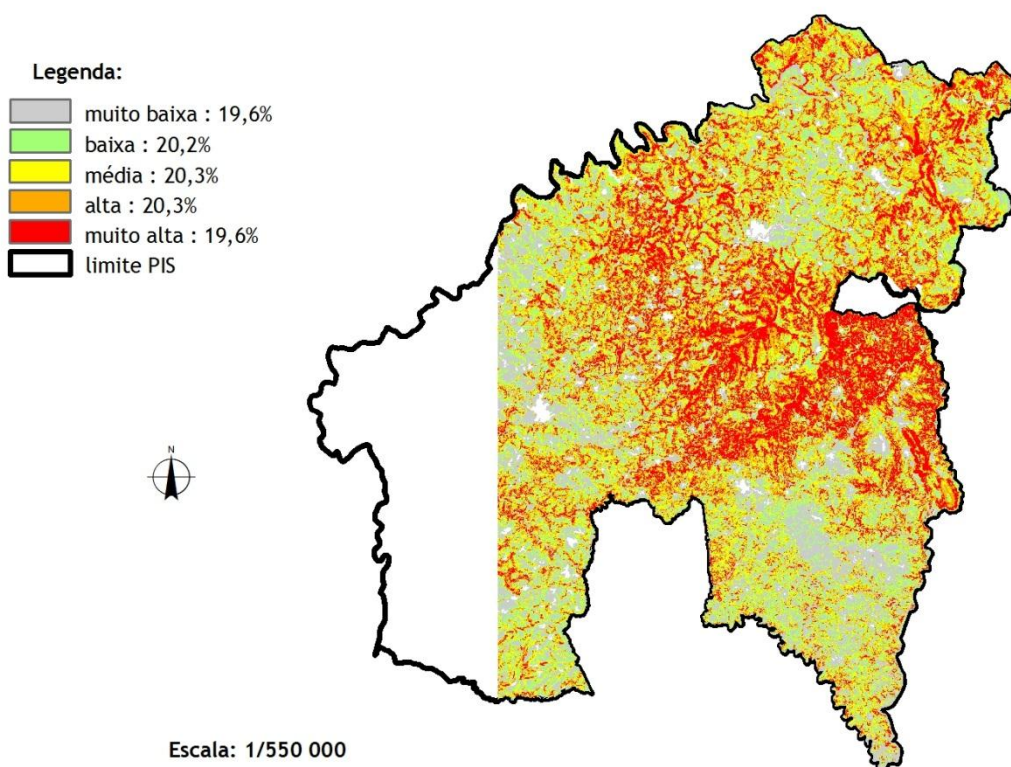


Figura 12 - Cenário de probabilidade de ocorrência de incêndio num cenário derivado da ocupação de 2007.

A distribuição espacial do cenário apresentado anteriormente com a área percorrida por incêndio considerando o histórico de incêndios de 2007 - 2011 evidencia uma maior aderência do modelo (Figura 13). As classes “média”, “alta” e “muito alta” coincidem com cerca de 80% da área percorrida por incêndio, facto que poderá ser explicado pelo parâmetro ocupação do solo dispor de uma melhor resolução espacial, quando em comparação com o cenário apresentado anteriormente. No oposto a classe “muito baixa” encontra-se somente em 4,4% da área ardida considerada, observar o Anexo IV (Figura 27).

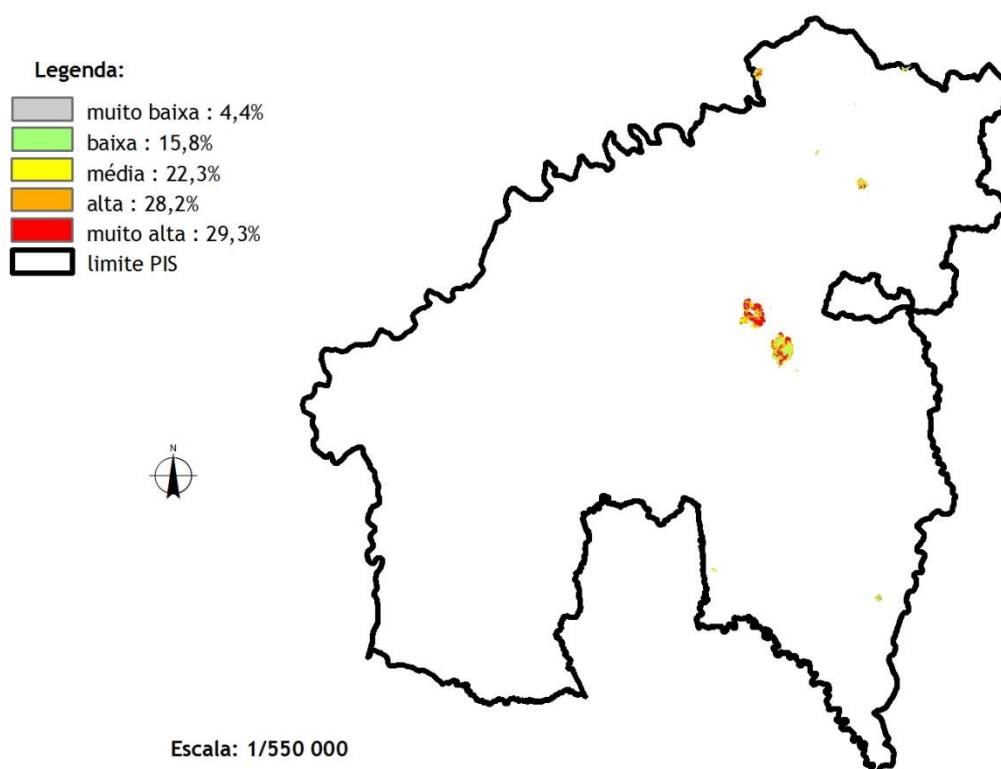


Figura 13 - Distribuição espacial do cenário de probabilidade de incêndio, ocupação 2007 e a área ardida de 2007 - 2011.

O facto de não dispor da ocupação de 2007 para a totalidade da área do PIS, levou à possibilidade de completar a primeira com a CLC 2006. Nesta tomada de decisão foi ponderada a combinação das duas classificações de ocupação do solo de acordo com o Quadro 9. A sua observação permite concluir que em cerca de 62% da área, ocorre uma coincidência perfeita dos códigos considerados e que em 24,4% da área a dispersão das combinações não positivas ocorre em espaço florestal, com classificação de espaços florestais em ambos os temas.

Quadro 9 - Combinação da ocupação 2007 com a CLC 2006, segundo a classificação à propensão ao fogo.

Combinação: Ocup. 2007 X CLC 2006	Percentagem de área
Combinação positiva	61.8%
Combinação não positiva mas em espaço florestal (classes: 4, 5 e 6)	24.4%
Outras combinações não positivas	13.8%

Os factos apresentados anteriormente suportaram o cenário de probabilidade de incêndio exposto pela Figura 14, que de alguma forma coincide com os cenários anteriores, observar o Anexo IV (Figura 28).

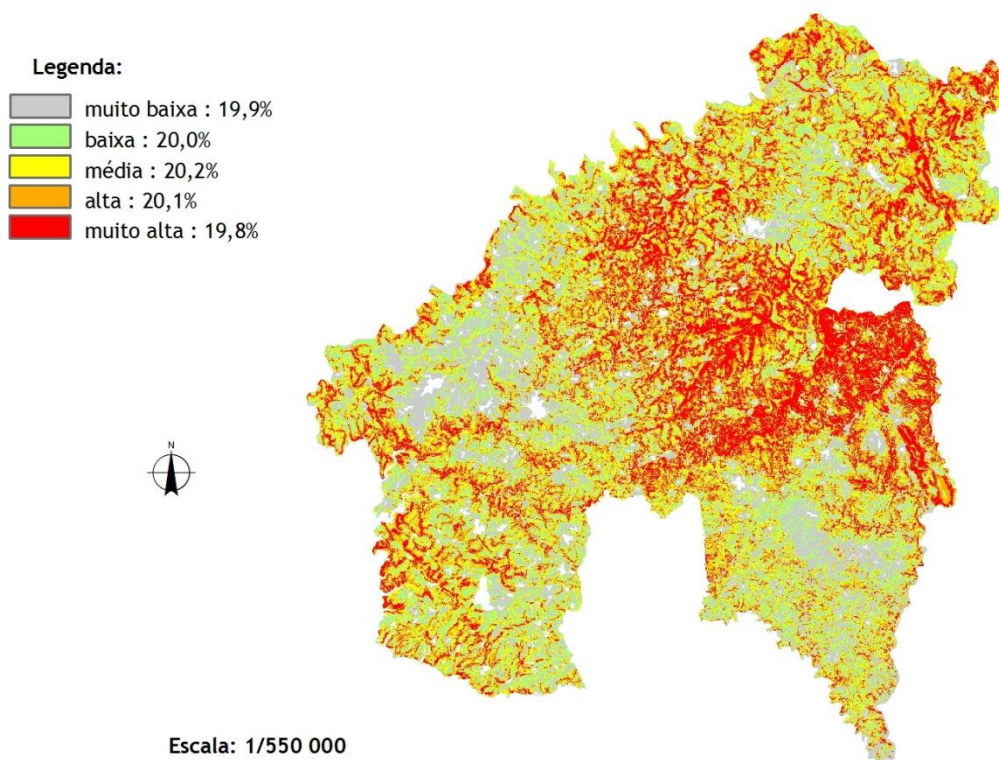


Figura 14 - Cenário de probabilidade de ocorrência de incêndio com CLC 2006 e ocupação 2007.

A distribuição espacial do cenário de probabilidade de incêndio desenvolvido com recurso à combinação da ocupação de 2007 e da CLC 2006, sob os incêndios decorridos entre 2007 e 2011, permitiram construir o mapa representado na Figura 15 e no Anexo IV (Figura 29). A sua observação permite concluir que 77,1% da área ardida ocorreu nas classes “média”, “alta” e “muito alta”. Na classe “muito baixa” apenas se verifica 7,1% da área percorrida por incêndio.

Na Figura 16 pode observar-se que os cenários de probabilidade construídos com a utilização da ocupação 2007 e a combinação ocupação 2007 e CLC 2006, permitem alcançar resultados muito semelhantes considerando as áreas percorridas por incêndio no histórico 2007 - 2011. Em ambas as situações é evidente que a classe com menor peso é a “muito baixa”, em oposto, as classes de probabilidade mais elevadas são as “alta” e “muito alta”, tendo as classes “baixa” e “média” um peso intermédio.

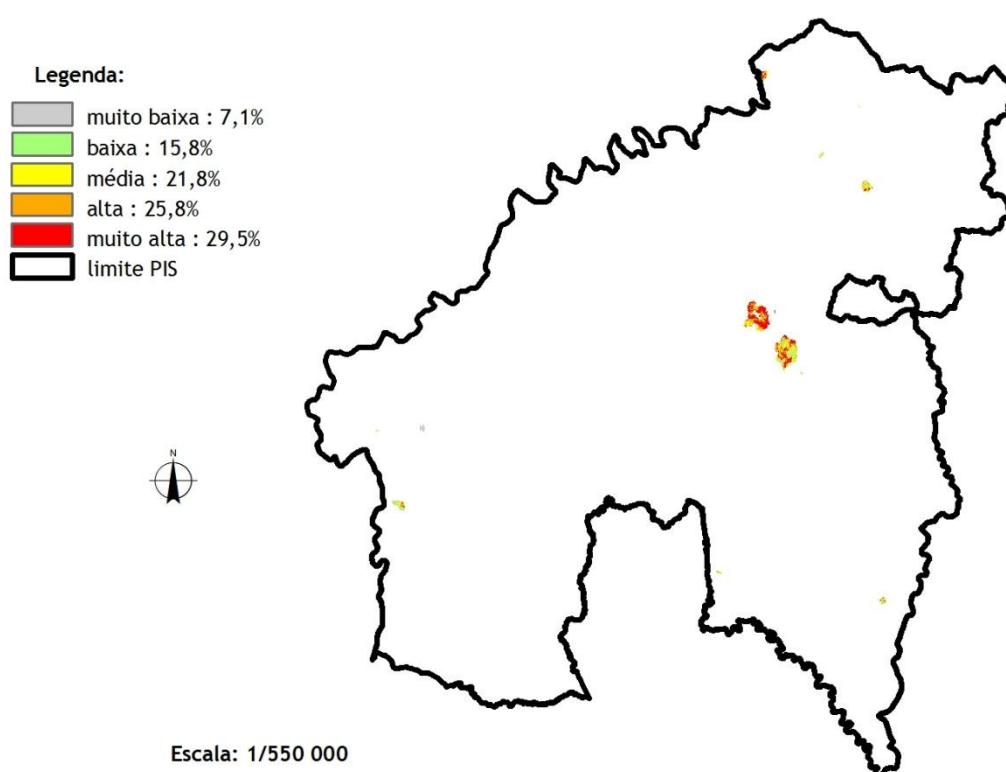


Figura 15 - Distribuição espacial do cenário de probabilidade de incêndio, ocupação 2007 e CLC 2006 com a área ardida de 2007 - 2011.

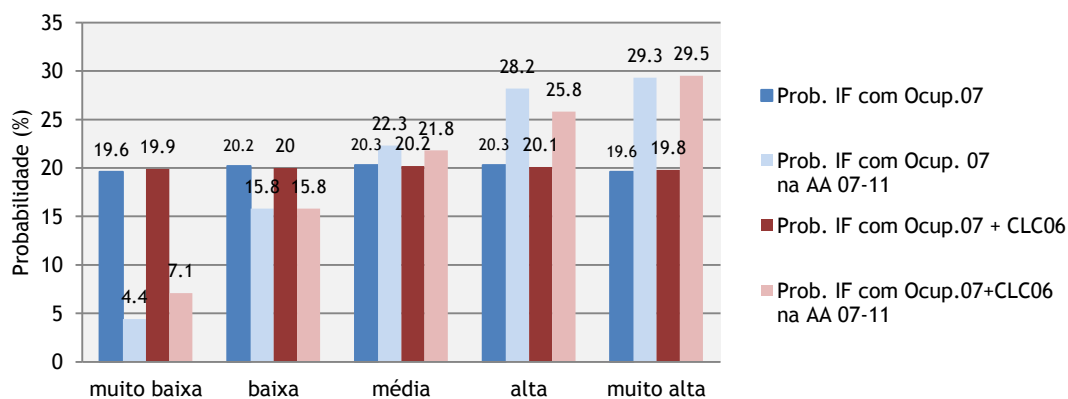


Figura 16 - Comparação dos cenários de probabilidade de incêndio florestal desenvolvidos com recurso à ocupação 2007 e à combinação ocupação 2007 e CLC2006 na área ardida (AA) 2007 - 2011.

O modelo desenvolvido para a região de Idanha-a-Nova com a aplicação da ocupação do solo 2006 permitiu construir o cenário apresentado na Figura 17 e no Anexo V (Figura 30). Este cenário permite observar que a distribuição das diversas classes de probabilidade de ocorrência de incêndio, estão muito dependentes da ocupação do solo e da proximidade à rede viária. A situação mais evidente ocorre precisamente na classe “muito baixa”, coincidente com as áreas agrícolas na zona central da região. As classes “alta” e “muito alta” ocorrem na conjugação de zonas com proximidade à rede viária e ocupação arbórea de pinhal ou eucalipto e matos respectivamente.

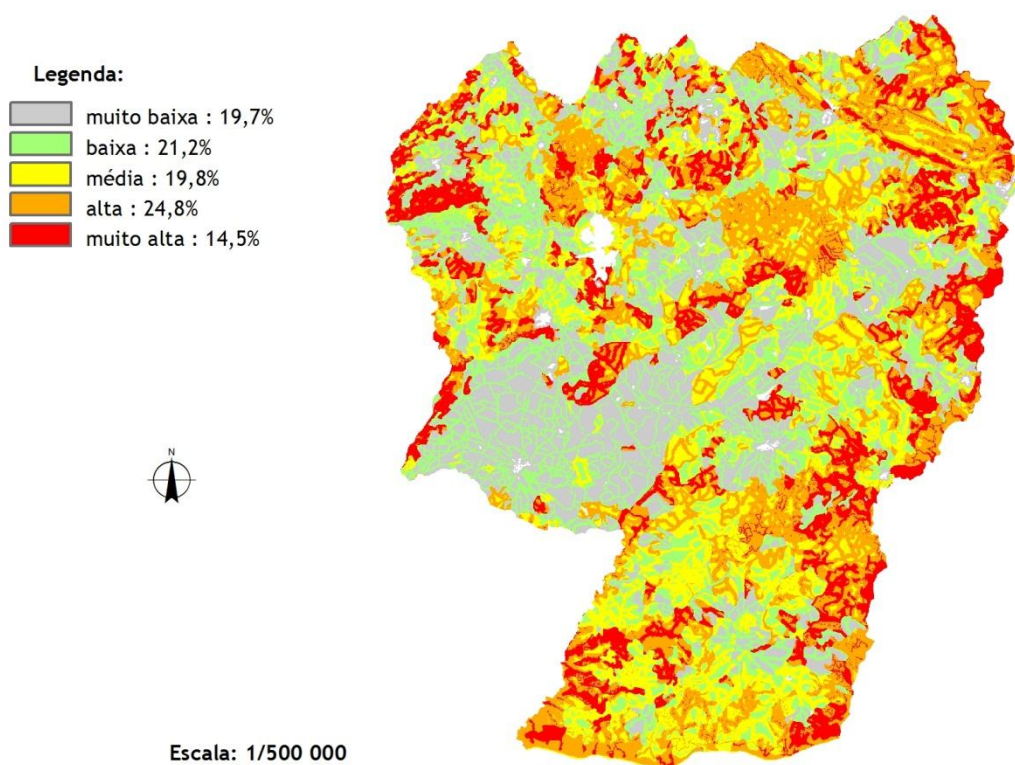


Figura 17 - Cenário de probabilidade de ocorrência de incêndio para a região de Idanha com ocupação CLC 2000.

A distribuição espacial entre o cenário conseguido para a região de Idanha-a-Nova com base na CLC 2000 e as áreas percorridas por incêndio de 2000 a 2006, permite observar que cerca de 79,4% da área ardida ocorreu nas classes “média”, “alta” e “muito alta”; por outro lado, apenas 7,3% da área percorrida por incêndio está classificada com uma probabilidade “muito baixa”, Figura 18 e Anexo V (Figura 31).

A Figura 19 compara o cenário de probabilidade de incêndio com base na CLC2000 com a área ardida entre 2000 e 2006 e permite observar a distribuição das áreas ardidas nas diversas classes de probabilidade de incêndio. Como já foi referido anteriormente são evidentes os paralelismos, entre as classes de probabilidade mais elevada e as áreas efectivamente percorridas por incêndios.

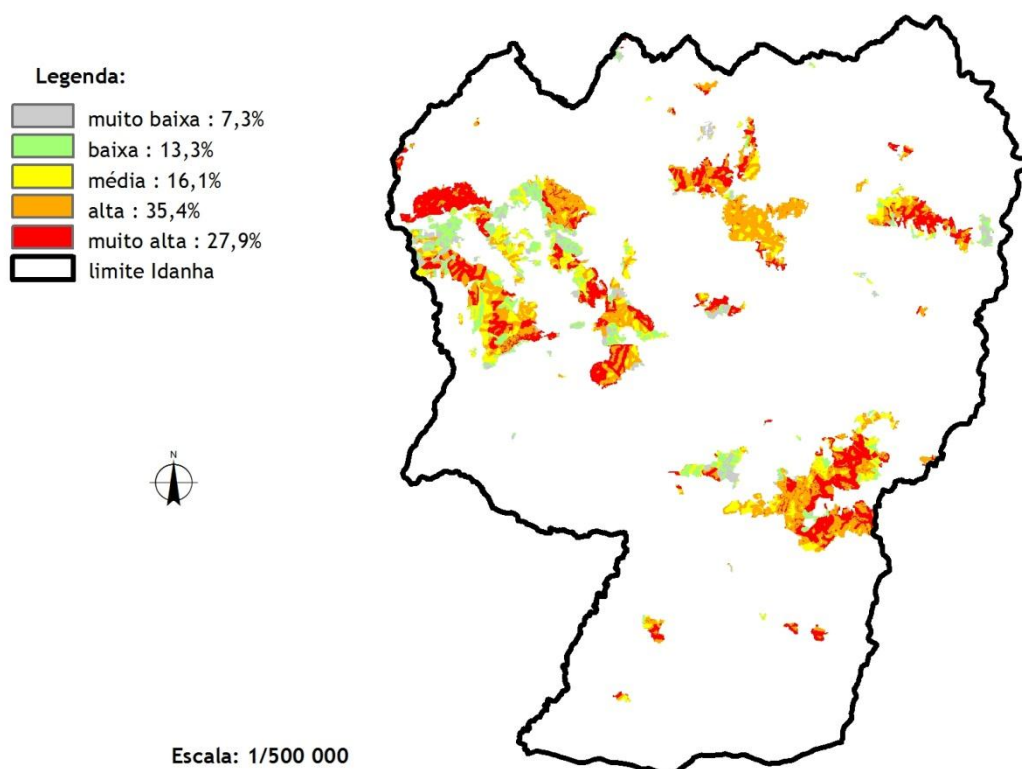


Figura 18 - Distribuição espacial do cenário de probabilidade de incêndio (CLC 2000) com a área ardida 2000 - 2006.

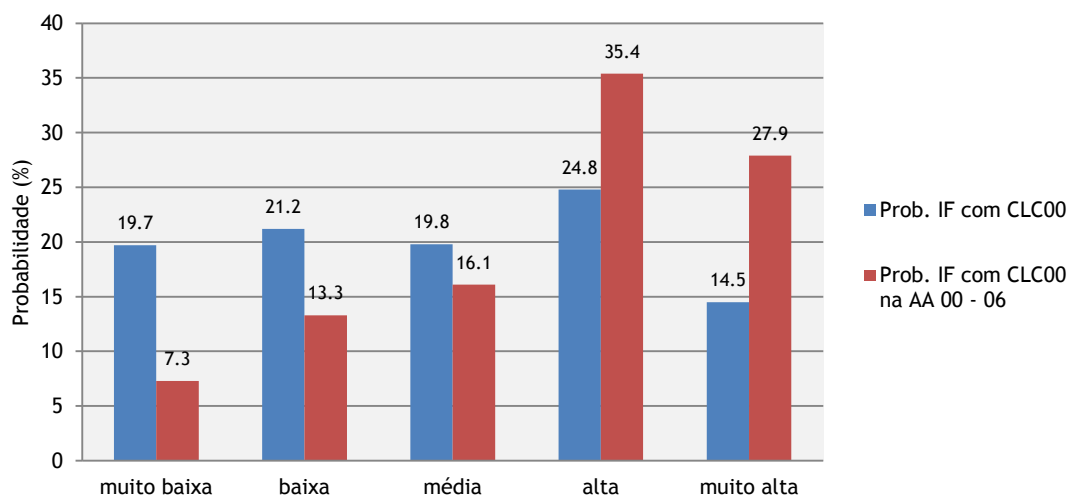


Figura 19 - Classes de probabilidade de incêndio florestal com base na CLC2000 nas áreas ardidas (AA) 2000-2006.

A Figura 20 expõe o cenário desenvolvido com o modelo de probabilidade para a região de Idanha-a-Nova com a ocupação de 2007, Anexo V (Figura 32). Tal como no cenário apresentado anteriormente, a classe “muito baixa” ocorre essencialmente nas áreas agrícolas localizadas na zona central da região. As classes “média”, “alta” e “muito alta” ocorrem nas áreas arborizadas, matos e proximidade da rede viária. Em síntese, a distribuição das classes de probabilidade de incêndio depende muito da ocupação e da proximidade da rede viária.

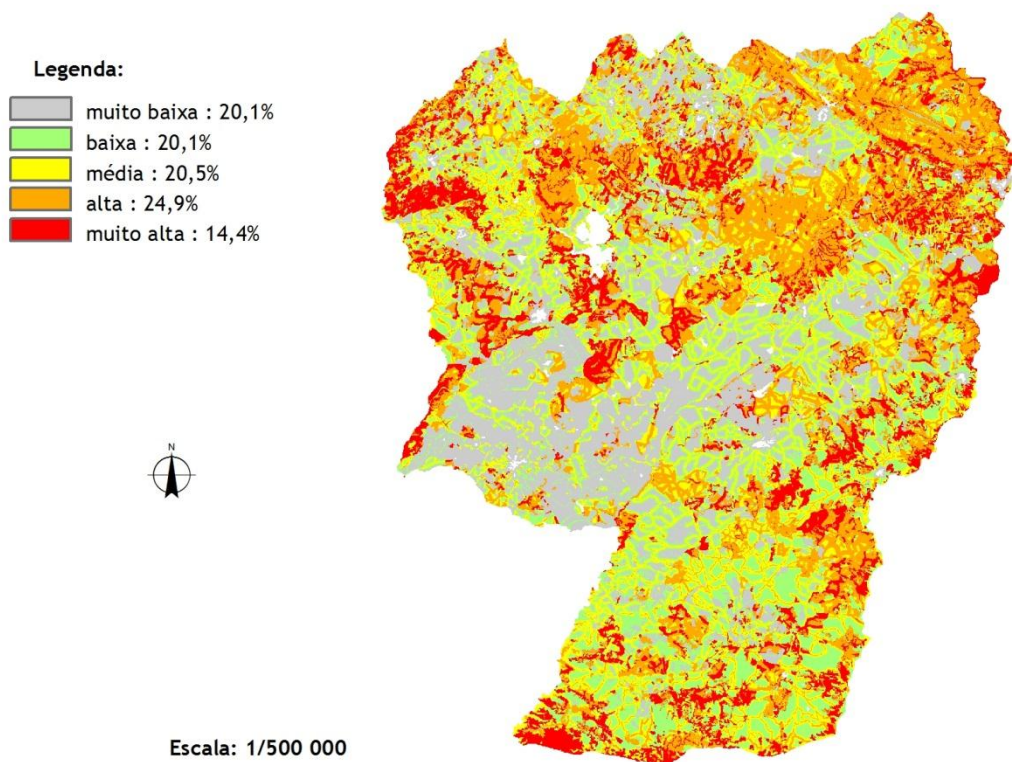


Figura 20 - Cenário de probabilidade de ocorrência de incêndio na região de Idanha com ocupação 2007.

A Figura 21 pretende expor o resultado da análise espacial das áreas ardidas (2007 - 2011) e o cenário de probabilidade de incêndio na região de Idanha-a-Nova, considerando a ocupação de 2007, Anexo V (Figura 33). As manchas classificadas com “alta” e “muito alta” representam em conjunto 58% das áreas percorridas por incêndio. A restante área ardida acaba por estar distribuída, de forma mais ou menos uniforme, pelas três classes de probabilidade que em conjunto somam 42%.

A Figura 22 confirma de certa forma o exposto na análise espacial apresentada anteriormente, sendo óbvia a concentração das áreas ardidas nas classes “alta” e “muito alta”, ainda que as três restantes classes tenham uma representação significativa.

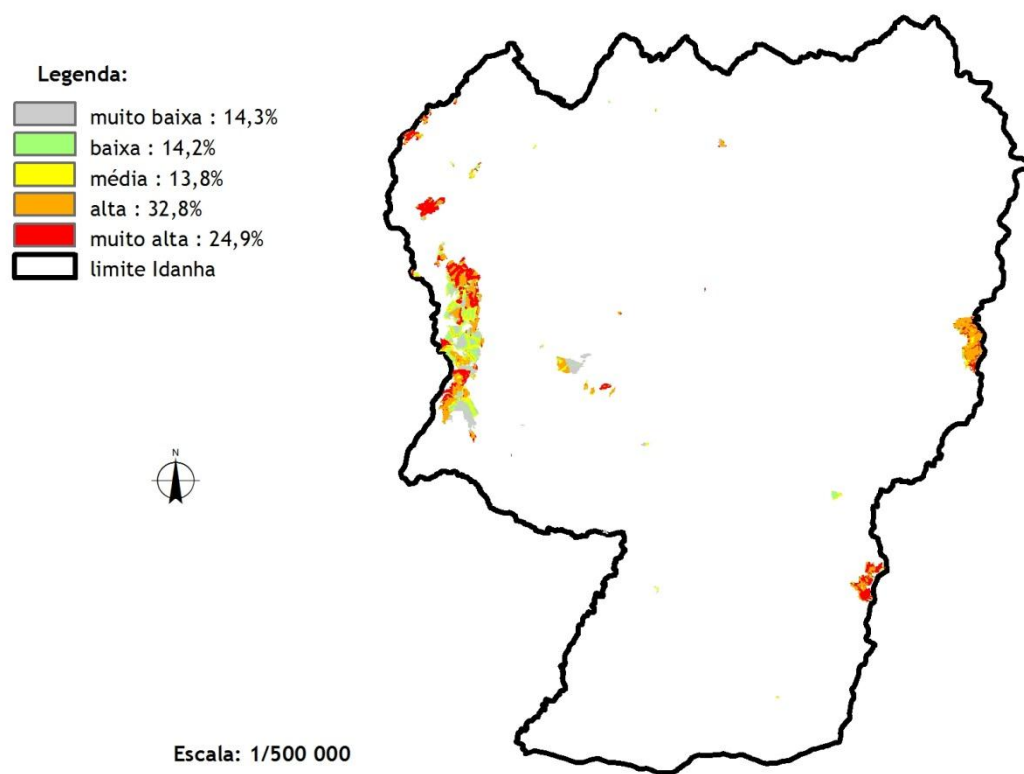


Figura 21 - Análise espacial do cenário de probabilidade de incêndio com ocupação 2007 e a área ardida 2007 - 2011.

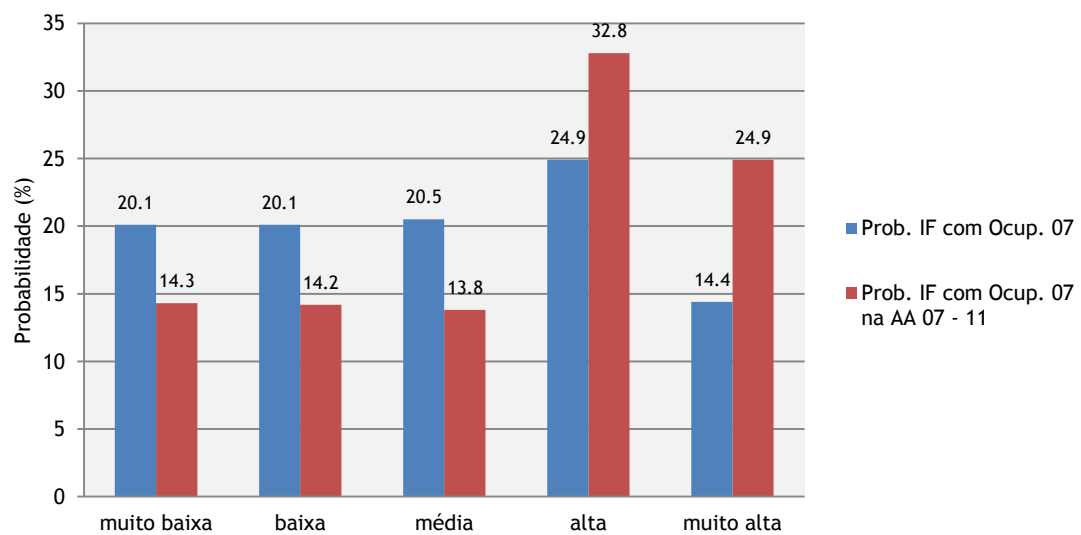


Figura 22 - Classes de probabilidade de incêndio florestal com base na ocupação 2007 nas áreas ardidas (AA) 2007-2011.

4.3 Validação dos modelos de probabilidade de incêndio

A validação decorreu da adaptação de um índice de desempenho ou de concordância espacial (Bates e Roo 2000) aos propostos do presente trabalho.

$$\text{Índice de desempenho} = \frac{\text{Área ardida (média, alta e muito alta)}}{\text{Área ardida total}} * 100 \quad (8)$$

Este índice considera um determinado período de histórico de incêndios e pretende obter a razão entre o somatório das classes de probabilidade “média”, “alta” e “muito alta” e a área total ardida em igual período temporal, assumindo-se que valores superiores a 60% decorrem de uma aderência positiva ao modelo estimado.

A Figura 23 possibilita observar os valores obtidos relativamente à aplicação do índice de concordância para a região do PIS. Em ambos os períodos temporais analisados, 2000 a 2006 e 2007 a 2011, os valores são sempre superiores a 60%, o que resulta de uma boa aderência ao modelo de probabilidade estimado, face aos objectivos propostos.

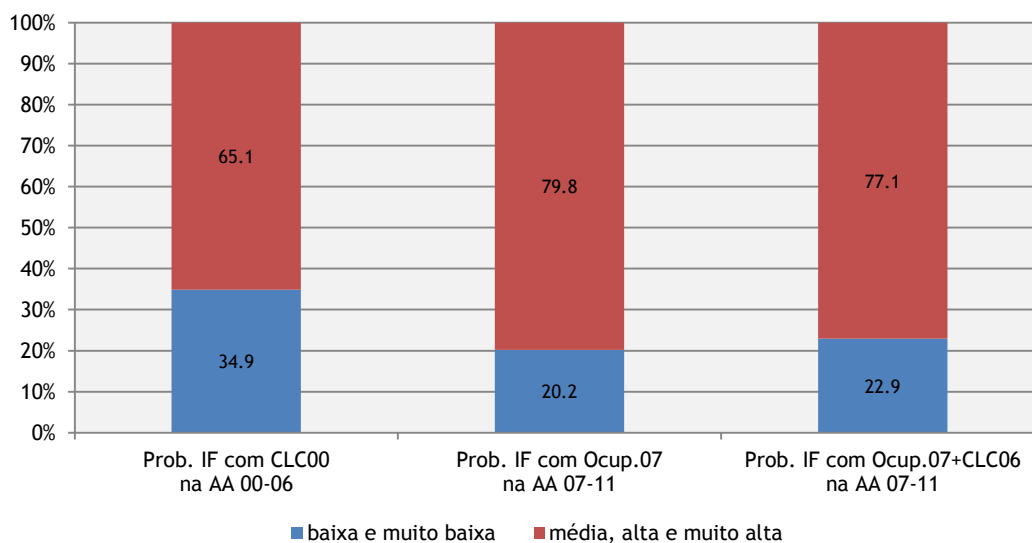


Figura 23 - Índice de desempenho ou concordância espacial para a região do PIS.

O índice de desempenho alcançado no primeiro período de validação (2000 - 2006) pressupõe uma aderência média de 65%. Contudo, a análise dos cenários projectados para o período temporal 2007 a 2011 mostra que os valores obtidos são francamente superiores, concretamente 80% e 77%. Destes últimos, destaca-se o primeiro relativo ao cenário projectado para a ocupação de 2007 e, o segundo relativo ao cenário projectado para a combinação da cartografia com ocupação 2007, complementada com a CLC 2006.

O nível dos valores alcançados pelo índice de desempenho pressupõe a existência de uma elevada concordância espacial e que esta se deve à escala de produção da ocupação 2007 (1:25

000), quando comparada com os valores alcançados com a utilização da cobertura CLC 2000 (1:100 000).

A Figura 24 permite comparar a distribuição das áreas ardidas, compreendidas nos períodos de 2000 - 2006 e 2007 - 2011, pelas diversas ocupações originadas pelas coberturas de uso do solo, a CLC 2000, a ocupação 2007 e a combinação da ocupação 2007 com a CLC 2006. De notar a área ardida de 0,2% registada na classe zona húmida e/ou urbano consolidado, valor este, ainda que baixo, está relacionado com a generalização da ocupação do solo originada pela escala de produção da cobertura CLC 2000. A área ardida registada em zona agrícola, ainda que elevada, 7,1%, terá de facto ocorrido. Algumas culturas de sequeiro, como por exemplo o olival, devido à disponibilidade sazonal de combustíveis finos e/ou à sua localização marginal aos espaços florestais, são facilmente percorridas por incêndio.

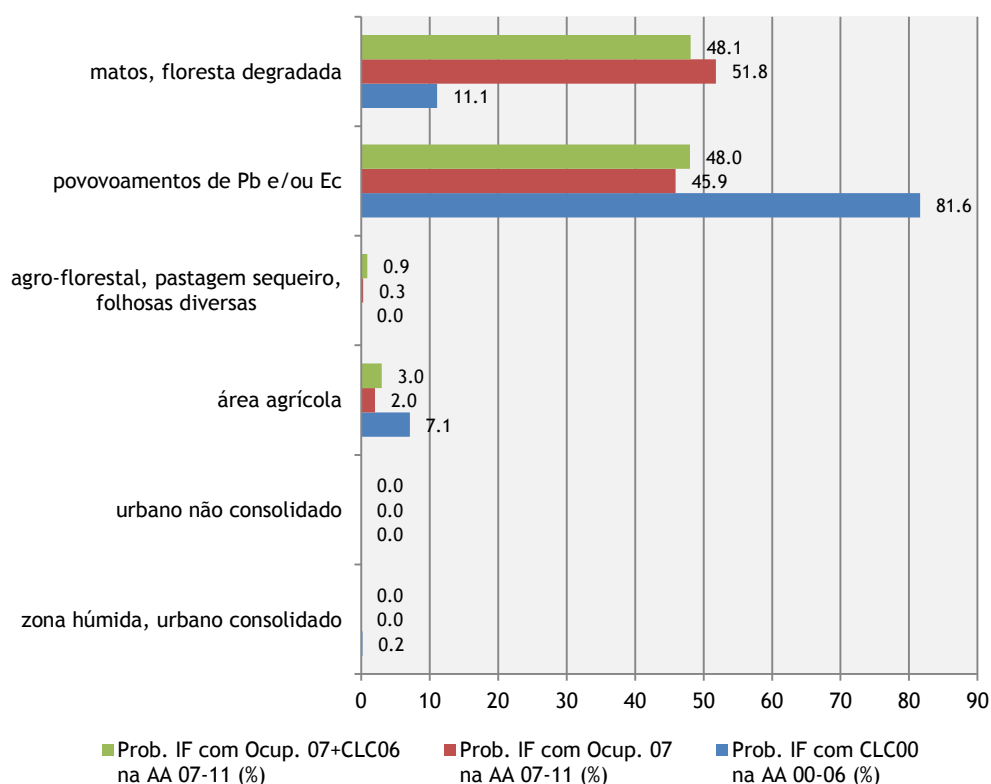


Figura 24 - Distribuição da área ardida por tipo de ocupação do solo na região do PIS.

Uma análise em pormenor dos dados de base do histórico de incêndios 2007 a 2011 revela que a área ardida na região do PIS “coberta” efectivamente pela CLC 2006 é apenas de 62 ha, num universo de 696 há. Portanto uma área muito pouco significativa e que de alguma forma justifica a ligeira diminuição da concordância espacial detectada pelo índice de desempenho, na observação dos dois cenários. Por outro lado, as variações de área ardida registadas relativamente às ocupações afectadas poderão advir do maior rigor da ocupação 2007 e da maior generalização provocada pela CLC 2006.

A Figura 25 possibilita observar o índice de concordância espacial alcançado pelos cenários projectados para o território de Idanha-a-Nova, nomeadamente de 79.4 e 71.5%, relativos aos períodos de validação 2000 - 2006 e 2007 - 2011. Os resultados alcançados pelo índice de desempenho, numa primeira observação, são algo contraditórios, em comparação com os verificados na região do PIS, tendo em conta que o primeiro período se refere à análise sobre o cenário com a cartografia CLC 2000 e o segundo desenvolvido no cenário com a ocupação 2007.

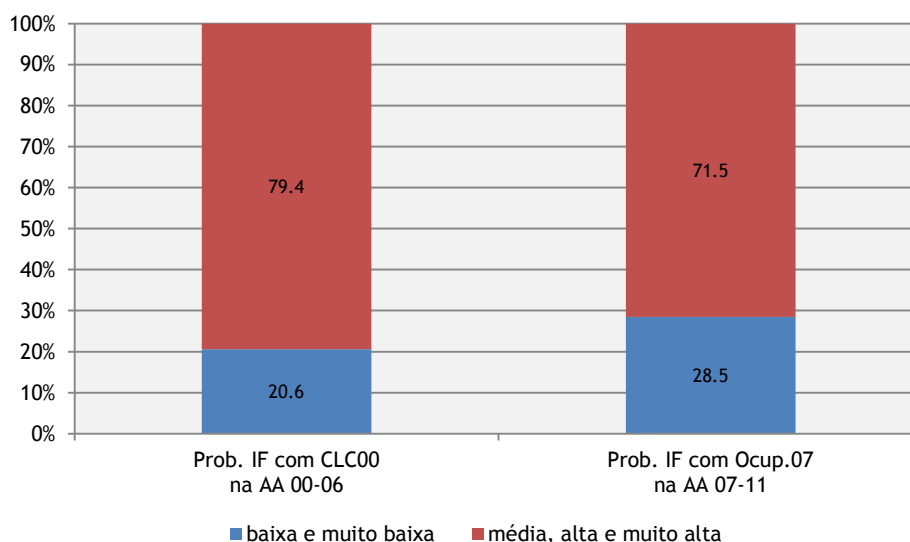


Figura 25 - Índice de desempenho ou concordância espacial para a região de Idanha-a-Nova.

A análise da área ardida sobre a ocupação 2007, no segundo momento de validação, 2007 a 2011, (Figura 26), permite observar que efectivamente uma parte importante da área percorrida por incêndio decorreu em zonas cuja ocupação era agro-florestal ou agrícola de sequeiro. Uma observação mais detalhada, com ajuda da ocupação do solo utilizada, revela que efectivamente as áreas percorridas por incêndio ocorreram em pastagens permanentes de sequeiro, olivais de sequeiro e outras culturas permanentes ou temporárias de sequeiro.

A análise da paisagem da região permite compreender que é composta por um “mosaico” de áreas de pequena a grande dimensão de ocupação agrícola, agro-florestal, floresta e matos, bem como a existência de uma orografia relativamente plana, factos que explicam a incidência do fogo sobre estas áreas. Uma paisagem desta natureza, quando sob incêndios, estes tendem a ser dominados pelo vento evidenciando grandes velocidades de propagação ainda que pouco intensos, tendo em conta a natureza do modelo de combustível que lhe estão associados.

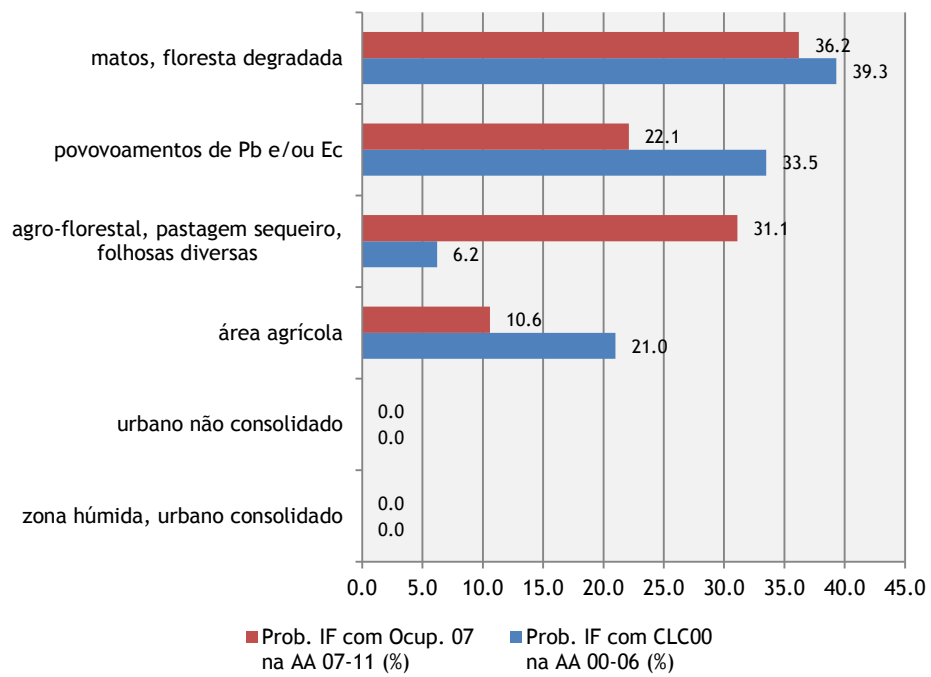


Figura 26 - Distribuição da área ardida por ocupações tipo na região de Idanha-a-Nova.

5. Conclusões

A técnica da regressão logística mostrou-se perfeitamente adequada ao desenvolvimento de modelos de probabilidade de ocorrência e propagação de incêndios, do tipo estrutural, tendo como base o histórico de incêndios e parâmetros orográficos, uso do solo e factores de origem humana. A metodologia mostrou-se perfeitamente acessível, de interacção expedita, o que poderá ser importante na sua replicação numa “larga escala” de utilizadores. Na verdade, a partir do momento em que são dominadas algumas das especificidades dos sistemas computacionais utilizados, as limitações metodológicas centram-se mais na disponibilidade e qualidade dos dados de base, do que em qualquer outro factor.

Os modelos calculados para as regiões do PIS e de Idanha-a-Nova, de acordo com os objectivos propostos e a metodologia seguida, apresentaram uma grande especificidade regional, bem como permitiram quantificar o peso concreto de cada um dos parâmetros considerados como susceptíveis de relevância à ocorrência e propagação de incêndios florestais.

Na região do PIS, caracterizada por uma ocupação essencialmente florestal e uma orografia extremamente vincada, a ocupação do solo, o declive e a distância à rede viária foram os parâmetros com maior contributo na equação final. Pelo contrário, a densidade de rede viária e a visibilidade dos postos de vigia foram os factores com menor peso. A região de Idanha-a-Nova, por sua vez apresenta uma orografia relativamente homogénea e uma paisagem composta por agricultura, agro-florestal e floresta. Os factores com maior contributo foram naturalmente a ocupação do solo, a distancia aos aglomerados populacionais e a distancia à rede viária. Em oposto, os parâmetros, declive, exposição e altimetria foram exactamente os factores com menor importância.

Os resultados do índice de concordância espacial obtidos nas validações dos diversos cenários de probabilidade de ocorrência de incêndios foram positivos, no geral os melhores valores foram alcançados quando se utilizou a ocupação de 2007 devido à sua maior resolução espacial.

Na região do PIS, o primeiro momento de validação desenvolvido com as áreas ardidas de 2000 a 2006 e a ocupação de base CLC 2000, o índice alcançado não passou dos 65%. No segundo momento de validação, considerando as áreas ardidas 2007 - 2011 e a referida ocupação de 2007, conseguiram-se níveis de concordância espacial de cerca de 80%.

A análise das ocupações afectadas pelo fogo nos períodos de observação referidos revela, que foram as áreas de povoamentos de pinheiro bravo ou eucalipto, em conjunto com os matos de florestas degradadas que mais contribuíram para a área total percorrida por incêndio, ainda que algumas áreas agrícolas também tenham sido atingidas. O facto de áreas agrícolas serem também afectadas pelo fogo não é propriamente algo pouco expectável. A maioria das áreas agrícolas na região ocupa zonas contíguas às grandes manchas de espaços florestais, localizadas nos melhores solos ao longo dos vales, ou em torno das povoações. Por outro lado, a agricultura dominante são as culturas de sequeiro, em particular o olival, cultura algo sazonal que durante a época estival carece, em muitas das situações, dos granjeios em sub-coberto, necessários à sua preservação. O absentismo e o abandono rural das últimas décadas apenas têm agravado estes fenómenos.

Na região de Idanha-a-Nova, pelo contrário, é no primeiro momento de validação, com as áreas ardidas de 2000 a 2006 e a CLC 2000, que se conseguem os níveis de concordância mais elevados, cerca de 80%, com a particularidade de uma grande parte da área ardida ter decorrido em área agrícola e agro-florestal. Contudo, no segundo momento de validação, ainda que inferior com apenas 71,5%, a análise da área efectivamente ardida revela que cerca de 42% da área percorrida por incêndio são superfícies agrícolas de sequeiro e espaços agro-florestais.

A análise da área ardida sobre a ocupação 2007, no segundo momento de validação, permite observar que efectivamente uma parte importante da área percorrida por incêndio decorreu em zonas com ocupação agro-florestal ou agrícola de sequeiro, destacando-se, as pastagens permanentes, os olivais eventualmente não geridos, entre outras culturas permanentes ou temporárias de sequeiro. Como referido anteriormente, um modelo de combustível do tipo herbáceo é o bastante para manter e propagar qualquer ocorrência. No caso particular da região de Idanha-a-Nova, caracterizada por apresentar uma orografia pouco relevante, os incêndios tendem a ser dominados pelos ventos genéricos, originando fogos com elevada velocidade de propagação, ainda que pouco intensos.

Os índices de validação alcançados, tendo como parâmetro de comparação as áreas efectivamente percorridas por incêndio, poderão apresentar-se pouco relevantes. Contudo é de notar que a metodologia seguida implica que o somatório das classes “média”, “alta” e “muito alta” deva situar-se sensivelmente em torno dos 60% de determinado território em análise. A abordagem permite evidenciar as verdadeiras prioridades de determinada área em estudo, ainda que com as áreas totais de cada classe de probabilidade sejam relativamente baixas, em comparação com outras metodologias.

Noutra vertente, as bases cartográficas utilizadas apesar de possibilitarem a sua adequação aos propósitos do presente trabalho, dada a sua natureza de construção de base,

supõem algumas limitações técnicas. As diversas cartografias de ocupação e uso do solo utilizadas, tendo em conta a sua escala de concepção e classificação de base, implicaram a equação de alguns problemas de natureza técnica. Destes, os mais relevantes foram em conseguir uma classificação mais ou menos equivalente, tendo em conta os diversos códigos utilizados, e as seis classes de propensão ao fogo previamente estabelecidas. Mas, possivelmente, a maior limitação resulta da generalização de determinadas ocupações. Por exemplo, na região de Idanha-a-Nova, grandes espaços classificados na CLC 2000 como culturas de temporárias de sequeiro, na ocupação 2007 correspondem a pastagens permanentes de sequeiro.

A metodologia para elaborar a carta de visibilidades dos postos de vigia, apenas permite dispor das áreas efectivamente visíveis de determinado ponto de observação, o que não está de acordo com a realidade, já que o avistamento de uma determinada coluna de fumo, mesmo sem a observação directa da sua base, é um factor crucial e motivador para desencadear uma intervenção. Outro factor relevante tem a ver com os postos de vigia localizados em território de Espanha: os mesmos não foram utilizados, tendo em conta que não está disponível a altimetria desse território.

As redes viárias utilizadas carecem de alguma homogeneidade nos critérios de levantamento/classificação tendo em conta os diversos concelhos abrangidos. Ainda que sejam um produto de relevância extraordinária carecem de alguns afinamentos de concepção.

A não disponibilidade dos “pontos de início” das diversas ocorrências que originaram a área ardida entre 90 a 99, foi uma limitação, porque estes pontos são fundamentais na construção dos modelos de probabilidade através da regressão logística.

Naturalmente, qualquer metodologia ou carta de probabilidade de incêndio, do tipo estrutural, tem sempre uma determinada limitação de concordância espacial, tendo como termo de comparação uma área efectivamente percorrida por incêndio. Os conhecimentos actuais sobre o fogo e o comportamento dos incêndios florestais permitem afirmar que determinados factores, à data de determinada ocorrência, são elementos de relevância decisiva no seu desenvolvimento e propagação. A meteorologia, à data de ocorrência e nos dias que antecederam a mesma, só por si, tem implicações directas na dessecação dos diversos tipos de combustíveis e nos ventos locais e gerais. A disponibilidade dos meios de supressão necessários para determinada ocorrência e a sua disposição num teatro de operações, são outros factores decisivos que, em última análise, determinam o perímetro final de um incêndio. Se a meteorologia determina a carga térmica imediatamente disponível, a velocidade e o rumo de determinada frente, os meios disponíveis e as estratégias adoptadas definem o nível de sucesso de supressão, em qualquer intervenção.

O presente trabalho poderá ser um contributo significativo na elaboração de mapas de probabilidade de incêndio, do tipo estrutural, compatíveis a uma escala de planeamento local. Os resultados demonstram também de forma objectiva a especificidade regional no peso das diversas variáveis explicativas, na composição de uma cartografia de probabilidade de incêndio.

Contudo, também é claro que algumas das bases cartográficas utilizadas poderão necessitar de um estudo mais exaustivo na sua adaptação a trabalhos do género. O desenvolvimento deste tipo de metodologias é importante para a disponibilização de uma cartografia de probabilidade de incêndio florestal, à escala local e também na gestão e priorização dos recursos existentes e investimentos futuros.

Bibliografia

- AFN, 2012. *Áreas ardidas de Portugal Continental*. Autoridade Florestal Nacional.
- AFN, 2012. *Estatística - Dados sobre incêndios florestais*. Disponível em: <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/estatisticas/estatistica-sgif> [Acedido em 17 de Janeiro de 2012].
- Albini, F., 1976. *Estimating wildfire behavior and effects*. Ogden: USDA Forest Service.
- Arroyo, L., Pascual, C. e Manzanera, J., 2008. Fire models and methods to map fuel types: the role of remote sensing. *Forest Ecology and Management*, 256, 1239-1252.
- Bates, P.D., e Roo, A.P.J., 2000. A simple raster-based model for flood inundation simulation. *Journal of Hydrology*, 236, 54-77.
- Bergonse, R. e Bidarra, J., 2010. Probabilidade bayesiana e regressão logística na avaliação da susceptibilidade de ocorrência de incêndios de grande magnitude. *Finisterra*, 89 (XLV), 79-104.
- Boboulos, M. e Purvis, M., 2009. Wind and slope effects on ROS ruling the fire propagation in East-Mediterranea pine forest litter. *Fire Safety Journal*, 44, 764-769.
- Caetano, M., V. Nunes e A. Nunes, 2009. *CORINE Land Cover for Continental Portugal*, 1:100 000. Relatório Técnico, Instituto Geográfico Português.
- Campbell, D., 1998. *The campbell prediction system*. 2nd ed. Ojai: U.S. Forest Service and State Department of Forestry and Fire.
- Castellà J., e Almirall, R., 2005. *Pla de prevenció d'incendis forestals del perímetre de protecció prioritària les gavarres*. Catalunya: Departament de Medi Ambient i Habitatge.
- Chuvieco, E., 2003. *Wildland fire danger, estimation and mapping*. Alcalá: University of Alcalá.
- Colin, P., Jappiot, M. e Mariel, A., 2001. *Protection des forêts contre l'incendie*. Roma: Fao e Cemagref.
- Cruz, M., 2005. *Guia fotográfico para identificação de combustíveis florestais - Região Centro de Portugal*. Coimbra: Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais da Universidade de Coimbra.

Decreto-Lei n.º 244/02. D.R. n.º 255, Série I-A de 2002-11-05. Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente. Revê a estrutura administrativa relativa à Nomenclatura das Unidades Territoriais.

Decreto-Lei n.º 124/06. D.R. n.º 123, Série I-A de 2006-06-28. Ministério da Agricultura do Desenvolvimento Rural e das Pescas. Estabelece o sistema de protecção e prevenção da floresta contra incêndios.

Decreto-Lei n.º 17/09. D.R. n.º 9, Série I de 2009-01-14. Ministério da Agricultura do Desenvolvimento Rural e das Pescas. Revê o Decreto-Lei n.º 124/06 relativamente ao sistema de protecção e prevenção da floresta contra incêndios.

DGRF, 2007. *Estratégia nacional para as florestas*. Lisboa: Direcção-Geral dos Recursos Florestais.

DGRF, 2004. *Rede de postos de vigia para detecção de incêndios florestais*. Direcção Geral dos Recursos Florestais.

Freire, S., Carrão, H. e Caetano, M., 2002. *Produção de cartografia de risco de incêndio florestal com recurso a imagens de satélite e dados auxiliares*. Lisboa: Instituto Geográfico Português.

Galán, C. e López, R., 2003. *Sistemas de información geográfica*. Madrid: RA-MA.

González-Olabarria, J. e Pukkala, T., 2010. Integrating fire risk considerations in landscape-level forest planning. *Forest Ecology and Management*: 261, 278-287.

Hengl, T., 2006. Finding the right pixel size. *Computers & Geosciences*, 32, 1283-1298.

Hosmer, D., e Lemeshow, S., 2000. *Applied logistic regression*. 2nd ed. New York: John Wiley.

IGeoE a. *Altimetria, curvas de nível da Carta Militar de Portugal*, equidistância 10 m, 1:25000. Instituto Geográfico do Exército.

IGeoE b. *Carta Militar de Portugal*, 1:25000. Instituto Geográfico do Exército.

IGP, 2011. *Limites Administrativos Oficiais de Portugal - CAOP 2011*, 1:25000. Instituto Geográfico Português. Disponível em: <http://www.igeo.pt/produtos/cadastro/caop/Versão2011.htm> [Acedido em 4 Agosto de 2011].

IGP, 2007. *Cartografia de risco de incêndio florestal dos distritos de Aveiro, Braga, Bragança, Coimbra, Guarda, Portalegre, Porto, Viana do Castelo, Vila Real e Viseu*. Disponível em: <http://scrif.igeo.pt/documentacao/papers.htm> [Acedido em 4 de Agosto de 2011].

IGP, 1995. *Fotografia aérea, falsa cor, voo: 1995*, resolução espacial: 1 metro. Instituto Geográfico Português.

IGP, 2004. *CORINE Land Cover para 2000 para Portugal Continental*, 1:100000. Instituto Geográfico Português. Disponível em: http://www.igeo.pt/gdr/index.php?princ=PROJECTOS/CLC2000&sessao=m_projectos [Acedido em 11 de Outubro de 2011].

IGP, 2003. *Produção das cartas de risco de incêndio florestal*. Disponível em: <http://scrif.igeo.pt/cartografiacrif/producao.htm> [Acedido em 5 de Agosto de 2011].

IGP, 1990. *Carta de ocupação do solo - Cos'90*, 1:25000. Instituto Geográfico Português. Disponível em: <http://www.igeo.pt/produtos/CEGIG/COS.htm>. [Acedido em 18 de Agosto de 2011].

INE, 1996. *Censos 1991 - resultados definitivos*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística

INE, 2002. *Censos 2001 - resultados definitivos*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística

Iniguez, J., Swetnam, T. e Yool, S., 2008. Topography affected landscape fire history patterns in southern Arizona, USA. *Forest Ecology and Management*, 256, 295-303.

Keane, R., Drury, S., Karau, E., Hessburg, P. e Reynolds, K., 2010. A method for mapping fire hazard and risk across multiple scales and its application in fire management. *Ecological Modelling*, 221, 2-18.

Lei n.º 21/10. D.R. n.º 163, Série I de 2010-08-23. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Integra o concelho de Mação na unidade territorial do Médio Tejo.

Martínez, J., Veja-Garcia, C., e Chuvieco, E., 2009. Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. *Journal of Environmental Management* 90, 1241-1252.

Nunes, M., Vasconcelos, M., Pereira, J., Dasgupta, N., Alldredge, R., e Rego, F., 2005. Land cover type and fire in Portugal: do fires burn land cover selectively?. *Landscape Ecology*, 20, 661-673.

Painho, M. e Caetano, M., 2005. *CORINE Land Cover 2000 em Portugal*. Lisboa: Instituto do Ambiente.

Pestana, M. e Gageiro, J., 2009. *Análise categórica, árvores de decisão e análise de conteúdo*. Lousã: Lidel.

Ricardo, A., 2010. *Modelação da probabilidade de ocorrência de incêndio em povoamentos florestais de Portugal Continental*. Tese de mestrado. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.

Rothermel, R., 1972. *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels*. Ogden: USDA Forest Service.

Salinero, E. e Isabel, M., 2004. *Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales*. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia e Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

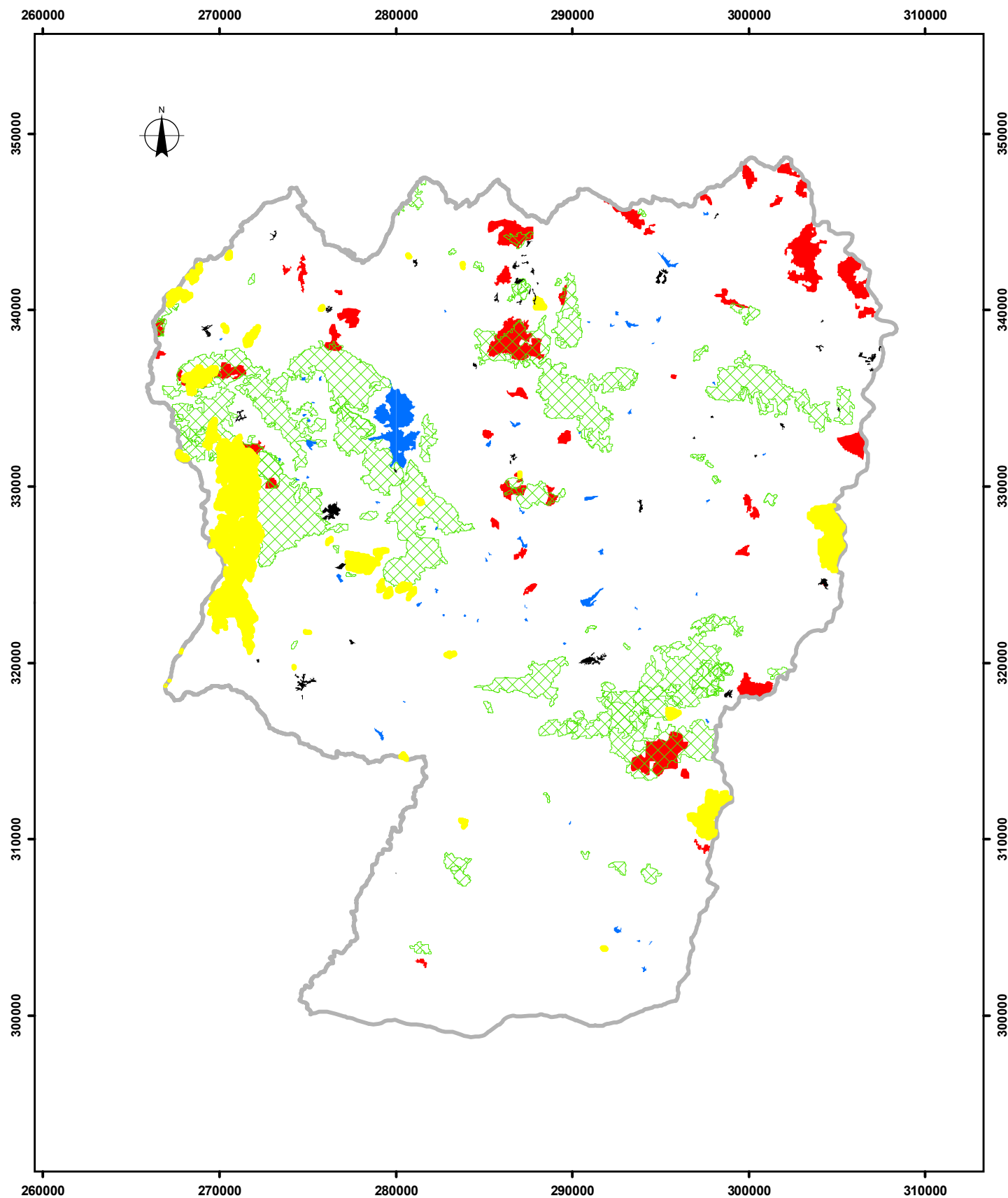
Teie, C., 2005. *Firefighter's handbook on wildland firefighting*. 3rd ed. California: Deer Valley Press.

Verde, J. e Zêzere J., 2007. *Avaliação da perigosidade de incêndio florestal*. Lisboa: Departamento de Geografia, Fac. Letras da Universidade de Lisboa e Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa.

Vesseron, P., Delarue, F., Rosenberg, P. e Sappin, M., 2002. *Plans de prévention des risques naturels (PPR) - Risques d'incendies de forêt*. Paris: La documentation Française.

Viegas, X., Rossa, C. e Ribeiro, M., 2011. *Incêndios florestais*. Coimbra: Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais da Universidade de Coimbra.

Anexos



Legenda:

- área ardida : 2007 - 2011 (2 821 ha)
- área ardida : 2000 - 2006 (18 867 ha)
- área ardida : 1990 - 1999 (4 549 ha)
- limite de concelho
- aglomerado urbano
- superfície de água

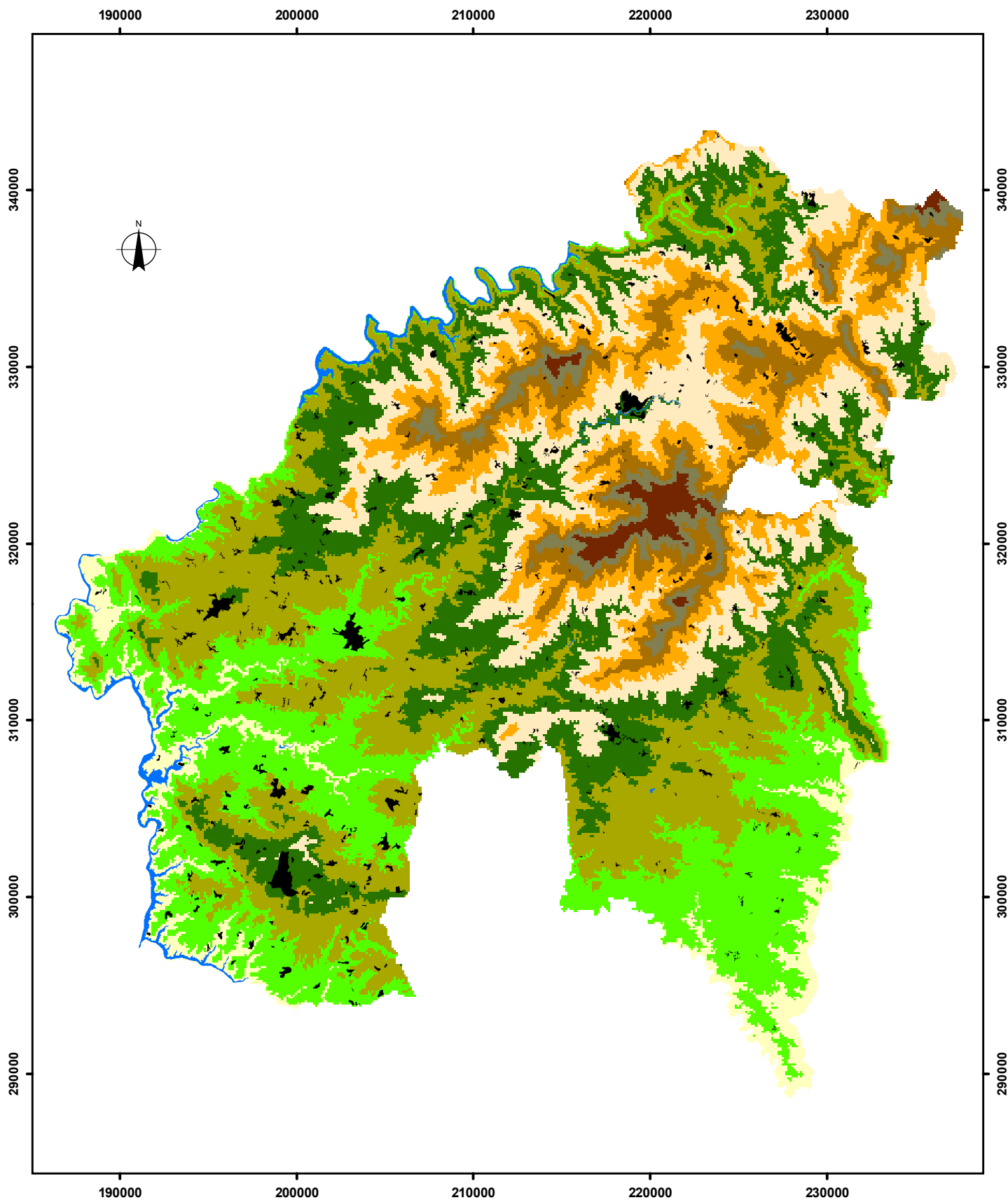
Anexo I - Figura 2

**Região de Idanha-a-Nova
Mapa de Áreas Ardidas**

Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

1 : < 200 : 5,59%	aglomerado urbano
2 : 200 - 300 : 19,58%	superfície de água
3 : 300 - 400 : 23,42%	
4 : 400 - 500 : 17,29%	
5 : 500 - 600 : 14,45%	
6 : 600 - 700 : 10,12%	
7 : 700 - 800 : 6,16%	
8 : 800 - 900 : 2,38%	
9 : > 900 : 1,01%	

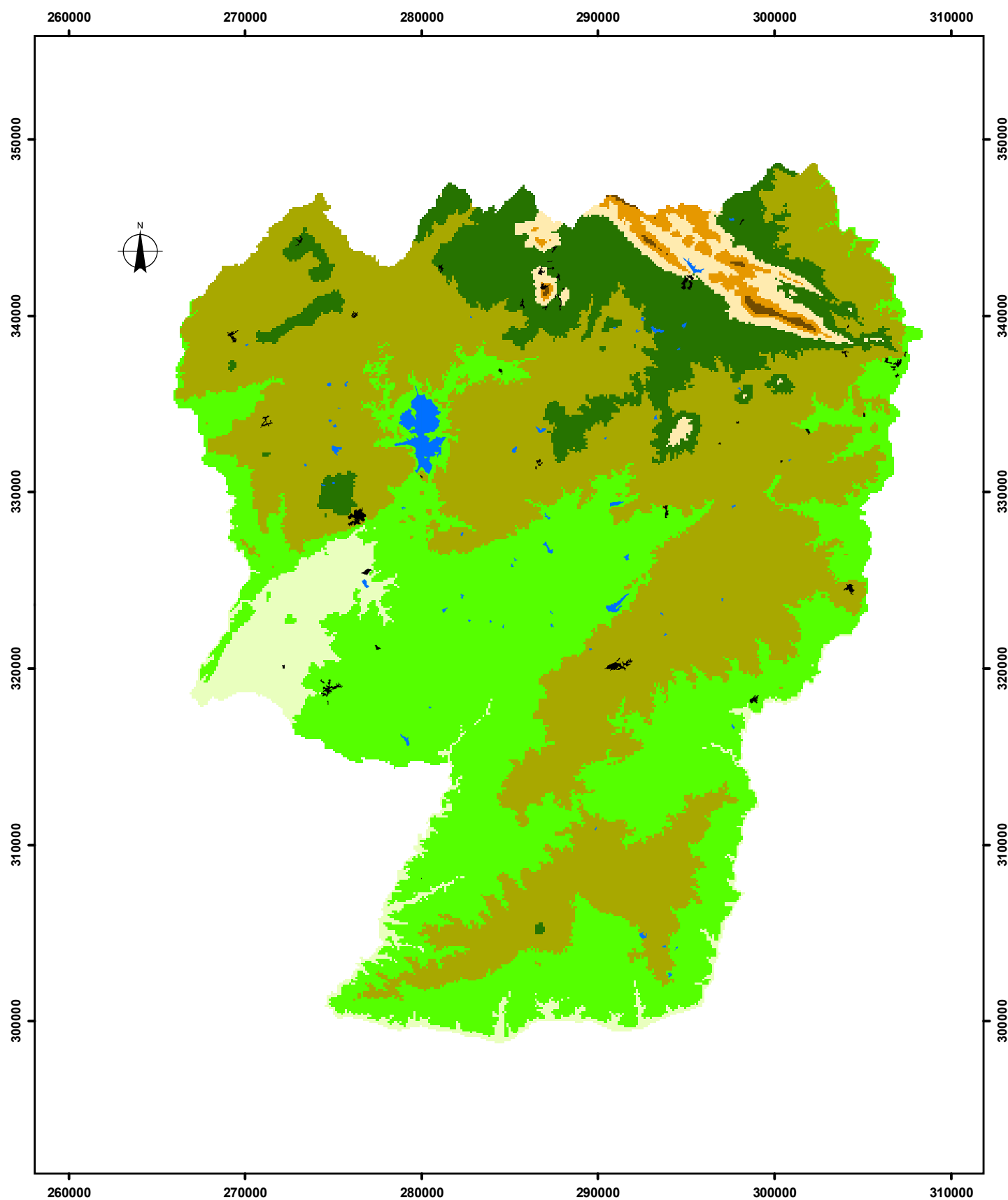
Anexo I - Figura 3

Região do Pinhal Interior Sul
Mapa de Hipsometria

Escala: 1/300 000

0 2.5 5 10 15 Km

Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
Translação de Origem - 200 000 m em X e - 300 000 m em Y



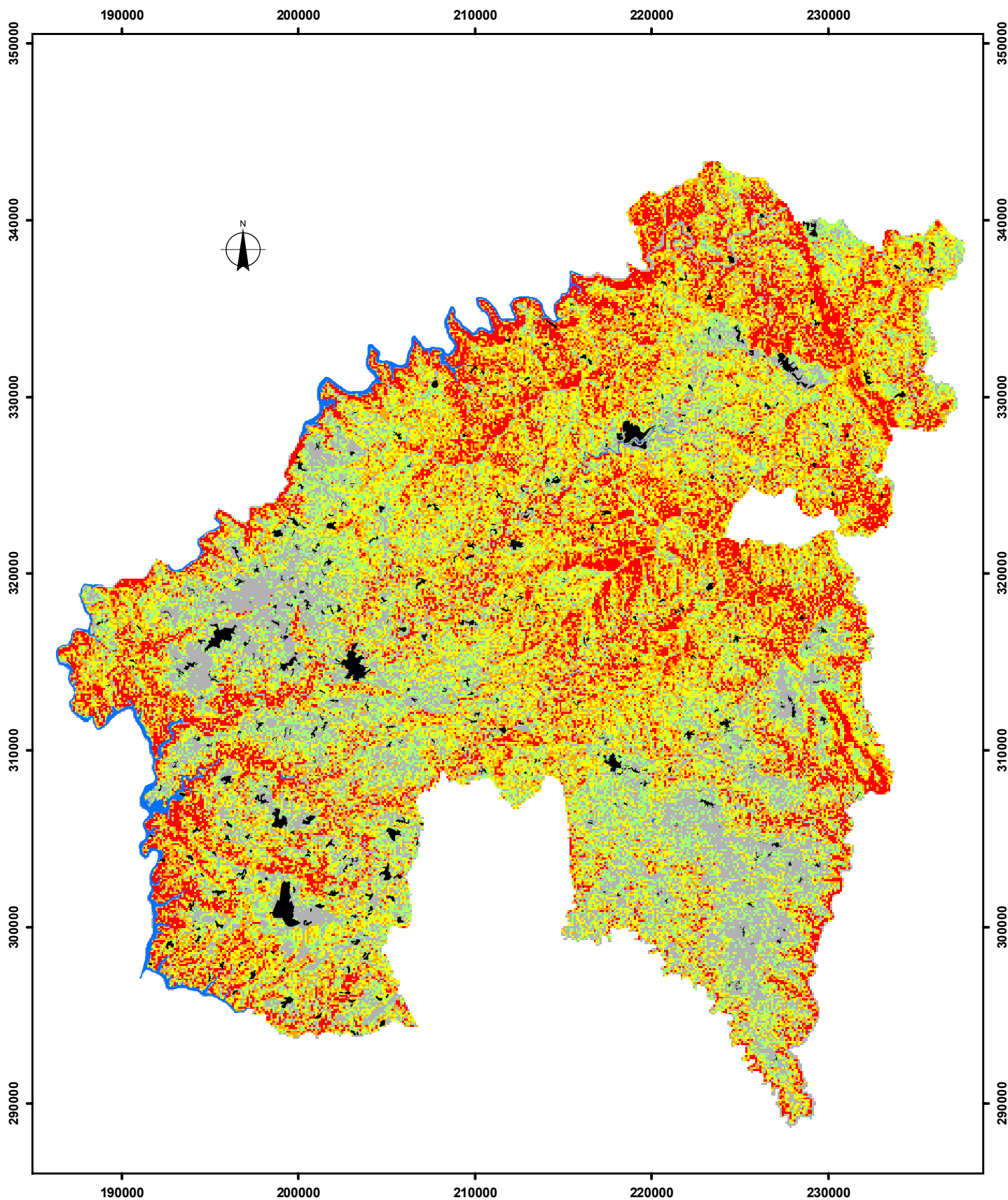
Anexo I - Figura 4

Região de Idanha-a-Nova Mapa de Hipsometria

Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

- 1 : 0 - 10% : 20,55%
- 2 : 10 - 20% : 19,42%
- 3 : 20 - 30% : 24,13%
- 4 : 30 - 40% : 18,56%
- 5 : > 40% : 17,34%

- aglomerado urbano
- superfície de água

Anexo I - Figura 5

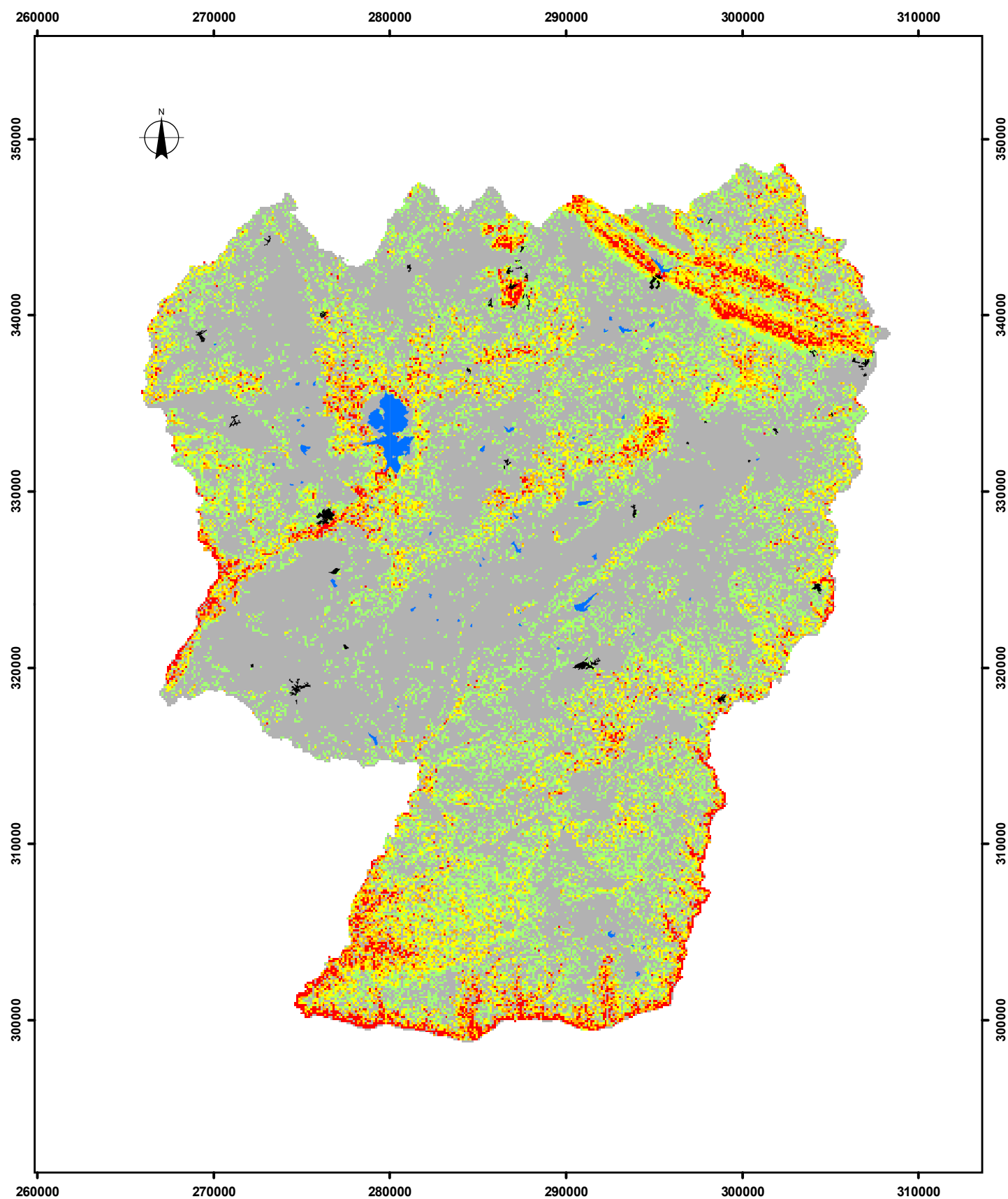
Região do Pinhal Interior Sul Mapa de Declives

Escala: 1/300 000








0 2.5 5 10 15 Km

Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y





Legenda:

	1 : 0 - 10% : 60,59%		aglomerado urbano
	2 : 10 - 20% : 21,30%		superfície de água
	3 : 20 - 30% : 10,39%		
	4 : 30 - 40% : 4,33%		
	5 : > 40 : 3,39%		

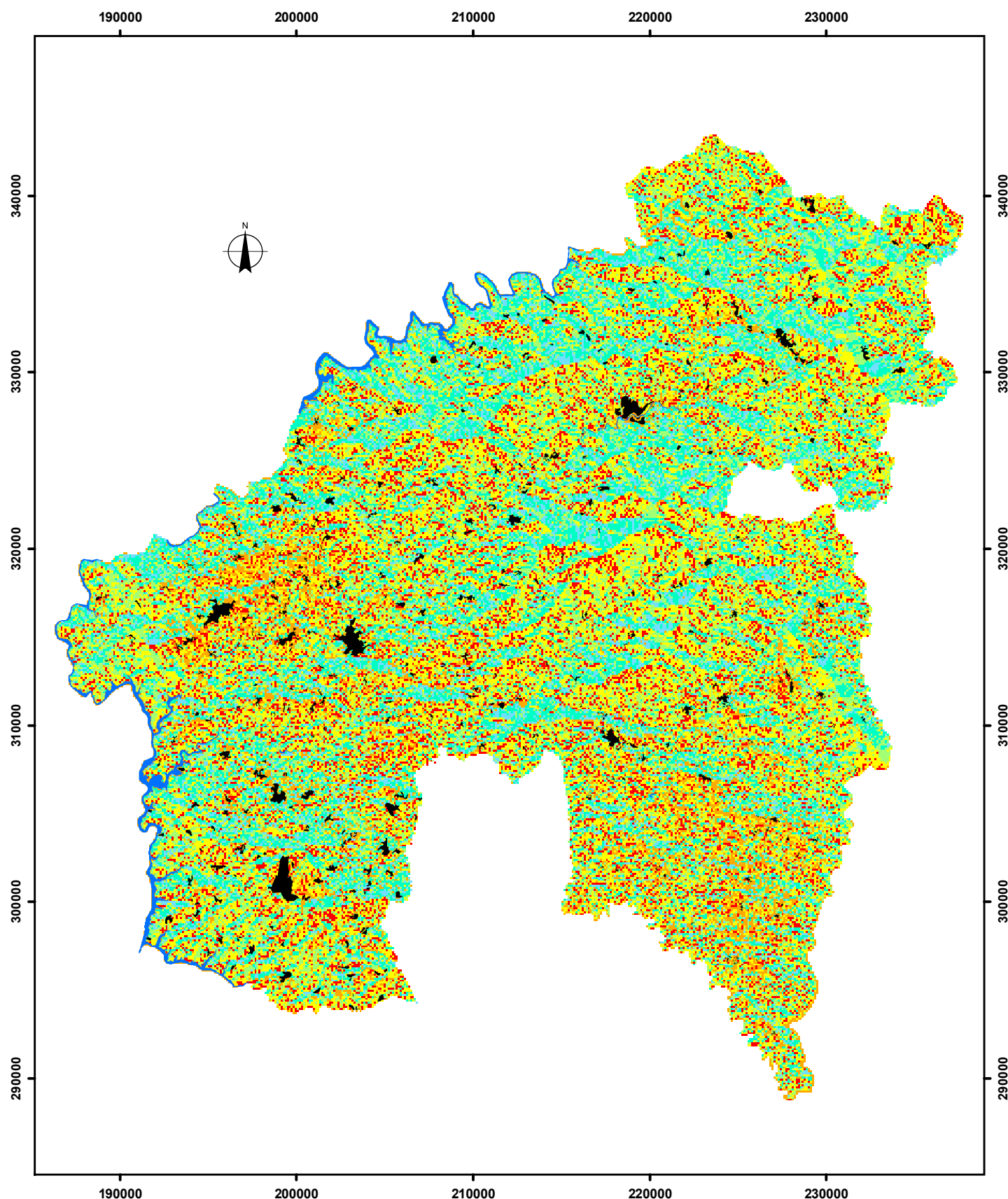
Anexo I - Figura 6

**Região de Idanha-a-Nova
Mapa de Declives**









Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

- | | | | |
|---|--------------------------|---|--------------------|
|  | 1 : N : 8,81% |  | aglomerado urbano |
|  | 2 : NO e NE : 20,66% |  | superfície de água |
|  | 3 : O e E : 21,93 % | | |
|  | 4 : SO e SE : 26,52% | | |
|  | 5 : zonas planas : 9,34% | | |
|  | 8 : S : 12,74% | | |

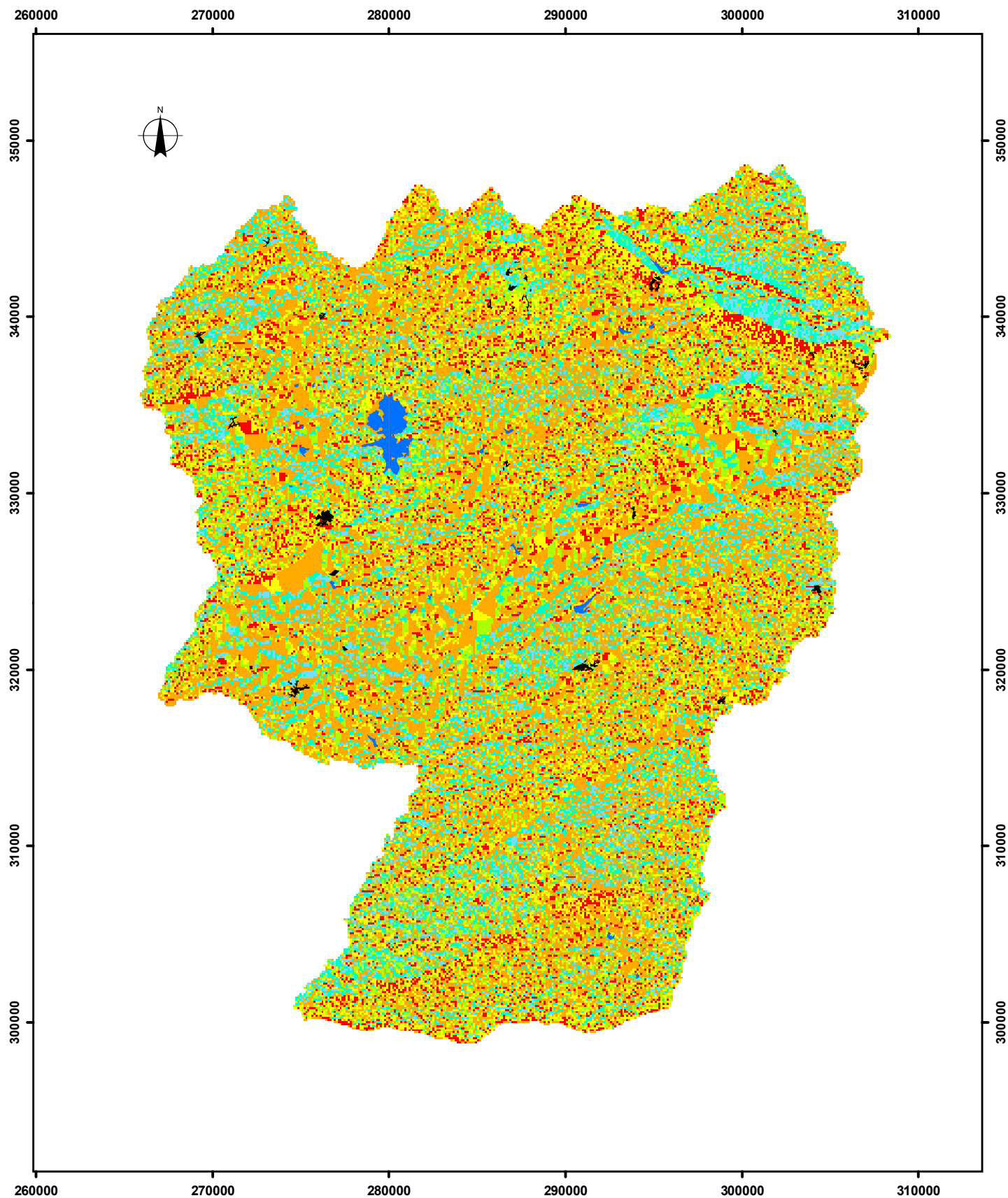
Anexo I - Figura 7

Região do Pinhal Interior Sul
Mapa de Exposições









Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

- | | | | |
|---|---------------------------|---|--------------------|
|  | 1 : N : 6,15% |  | aglomerado urbano |
|  | 2 : NO e NE : 13,15% |  | superfície de água |
|  | 3 : O e E : 14,51 % | | |
|  | 4 : SO e SE : 16,54% | | |
|  | 5 : zonas planas : 40,23% | | |
|  | 8 : S : 9,42% | | |

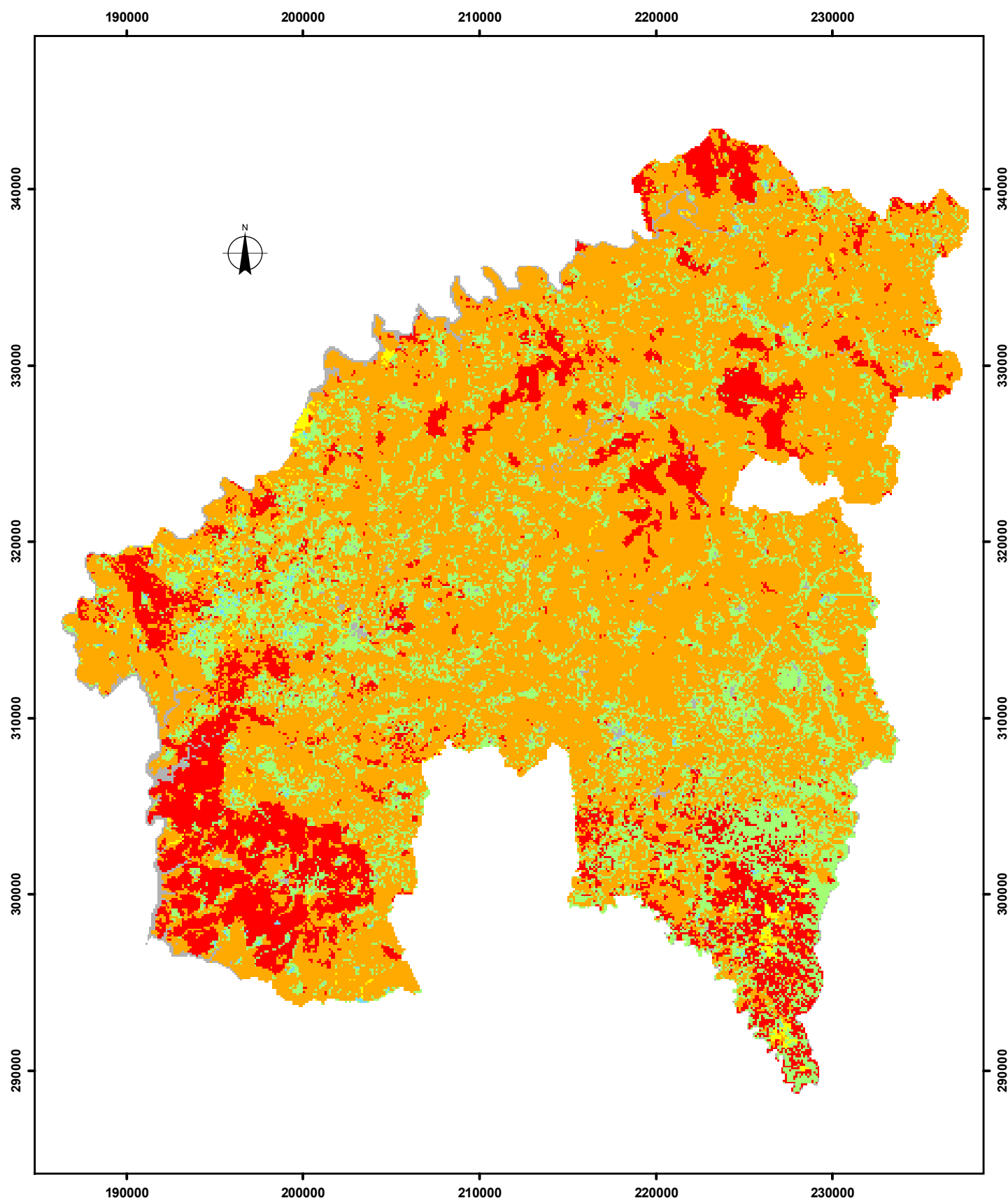
Anexo I - Figura 8

**Região de Idanha-a-Nova
Mapa de Exposições**

Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

- 1 : z. húmidas e urbano consolidado : 1,92%
- 2 : urbano não consolidado : 0,40%
- 3 : área agrícola : 17,46%
- 4 : folhosas diversas (não eucalipto) : 0,65%
- 5 : pov. de p. bravo e eucalipto : 65,10%
- 6 : mato e floresta degradada : 14,47%

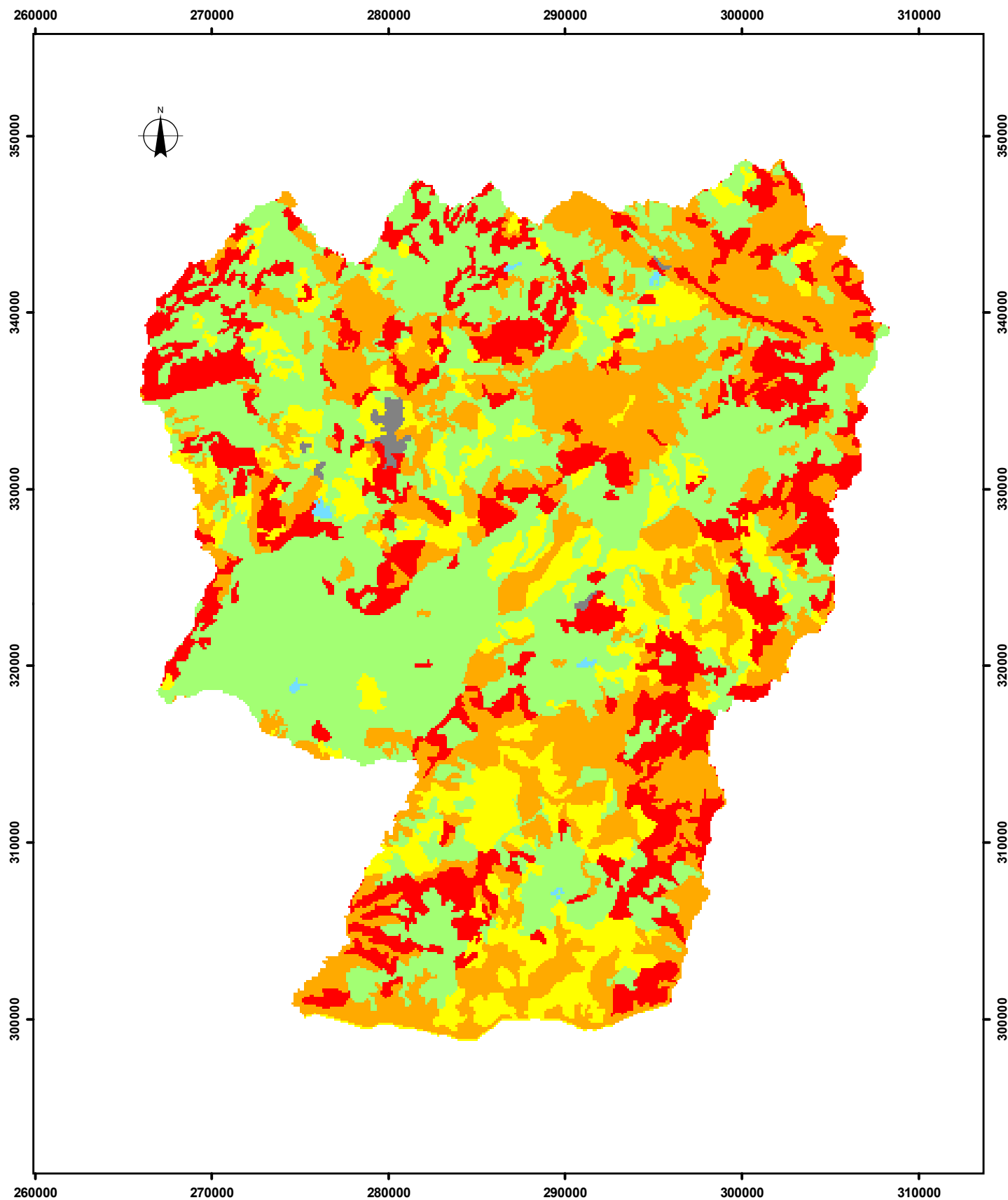
Anexo I - Figura 9

Região do Pinhal Interior Sul
Mapa de Ocupação do Solo Cos's 90

Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

- 1 : z. húmidas e urbano consolidado : 1,69%
- 2 : urbano não consolidado : 0,06%
- 3 : área agrícola : 33,72%
- 4 : folhosas diversas (não eucalipto) : 32,98%
- 5 : pov. de p. bravo e eucalipto : 17,04%
- 6 : mato e floresta degradada : 14,51%

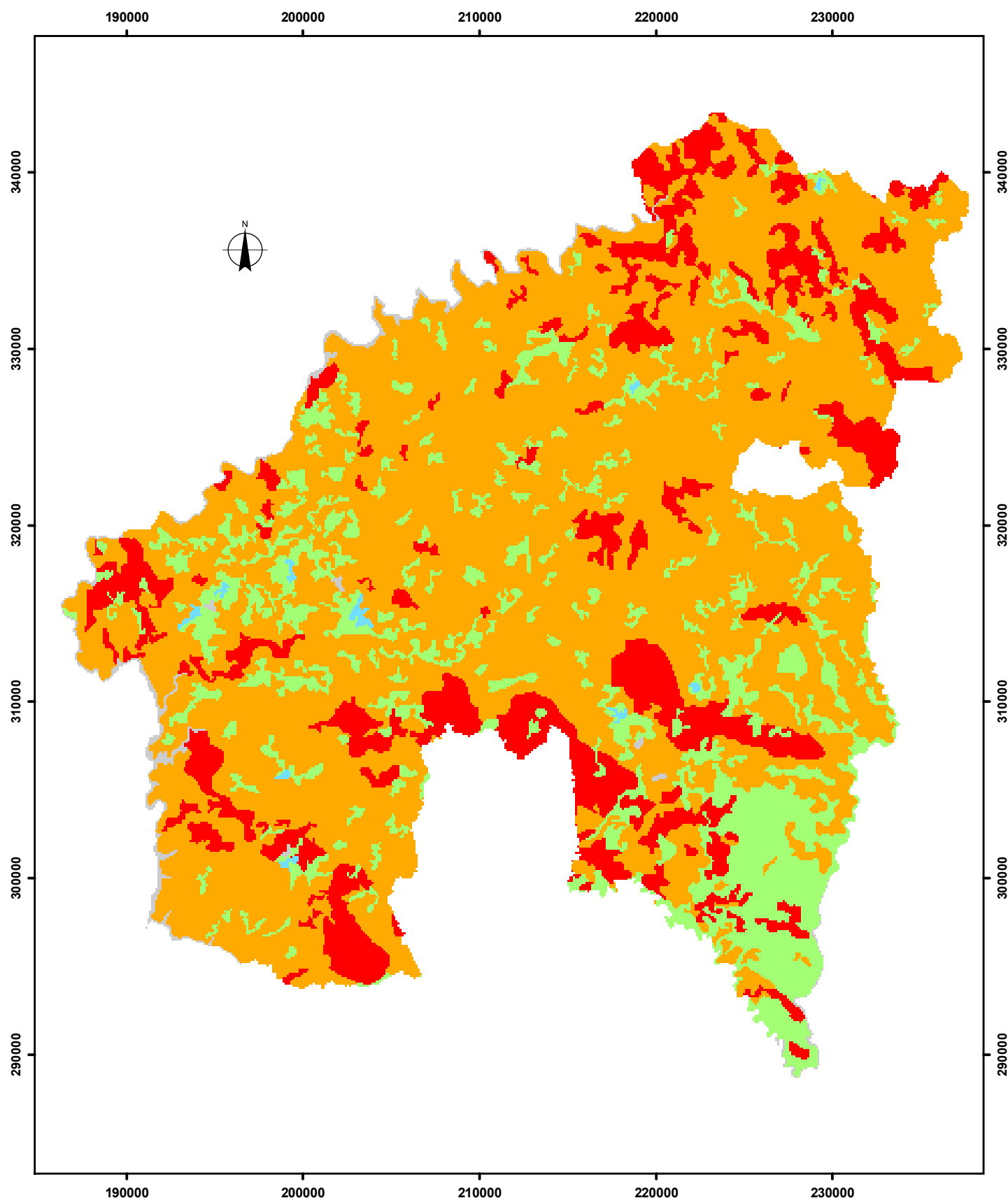
Anexo I - Figura 10

Região de Idanha-a-Nova
Mapa de Ocupação do Solo - COS'90

Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

- 1 : z. húmidas e urbano consolidado : 1,19%
- 2 : urbano não consolidado : 0,30%
- 3 : área agrícola : 15,21%
- 5 : pov. de p. bravo e eucalipto : 67,49%
- 6 : mato e floresta degradada : 15,81%

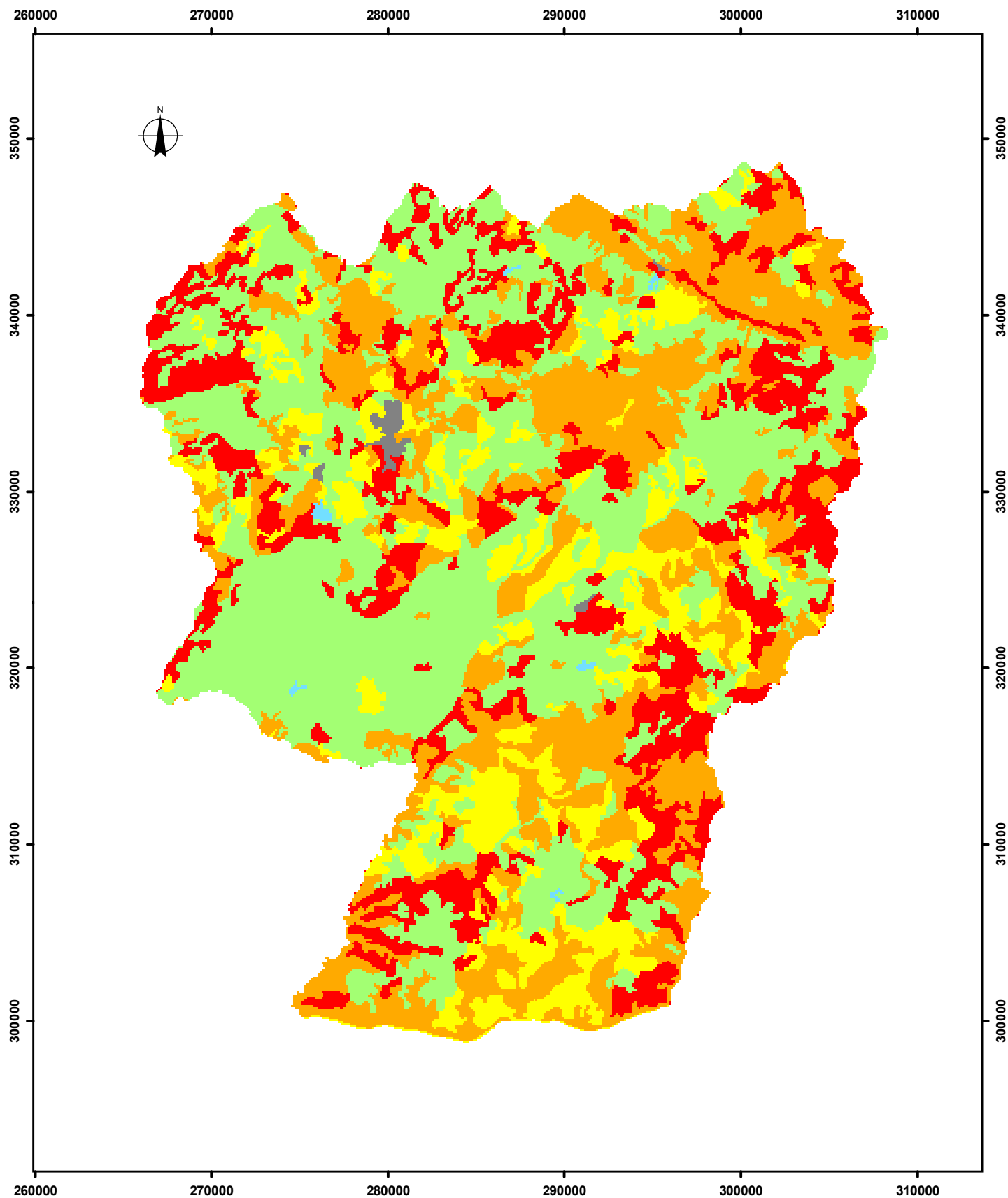
Anexo I - Figura 11

Região do Pinhal Interior Sul
Mapa de Ocupação do Solo CLC 2000

Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

- 1 : z. húmidas e urbano consolidado : 0,42%
- 2 : urbano não consolidado : 0,17%
- 3 : área agrícola : 38,99%
- 4 : folhosas diversas (não eucalipto) : 13,47%
- 5 : pov. de p. bravo e eucalipto : 27,73%
- 6 : mato e floresta degradada : 19,22%

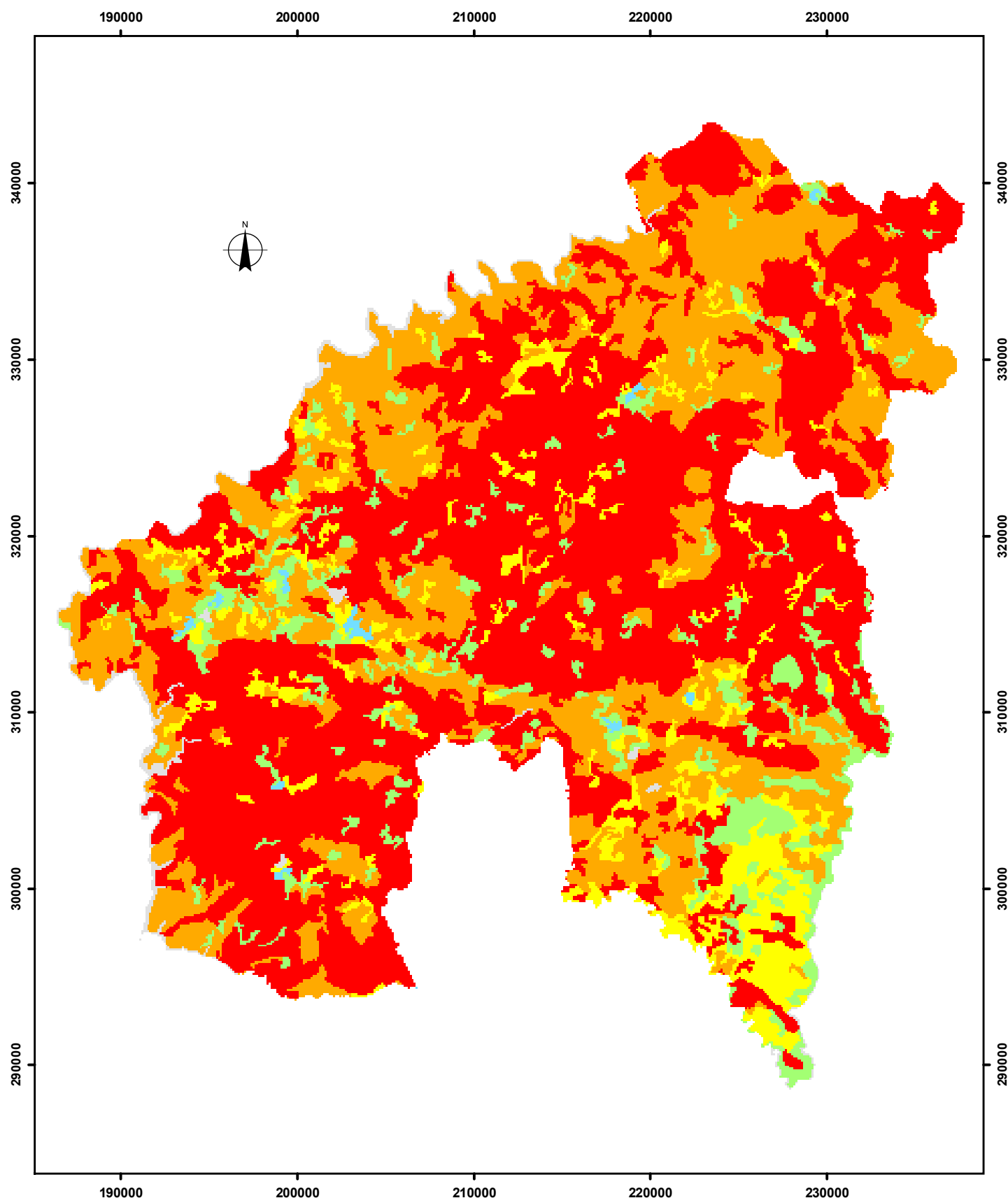
Anexo I - Figura 12

Região de Idanha-a-Nova
Mapa de Ocupação do Solo CLC 2000







Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

- | | |
|---|---|
|  | 1 : z. húmidas e urbano consolidado : 1,24% |
|  | 2 : urbano não consolidado : 0,33% |
|  | 3 : área agrícola : 7,25% |
|  | 4 : pov. de p. bravo e eucalipto : 7,76% |
|  | 5 : pov. de p. bravo e eucalipto : 30,10% |
|  | 6 : mato e floresta degradada : 53,32% |

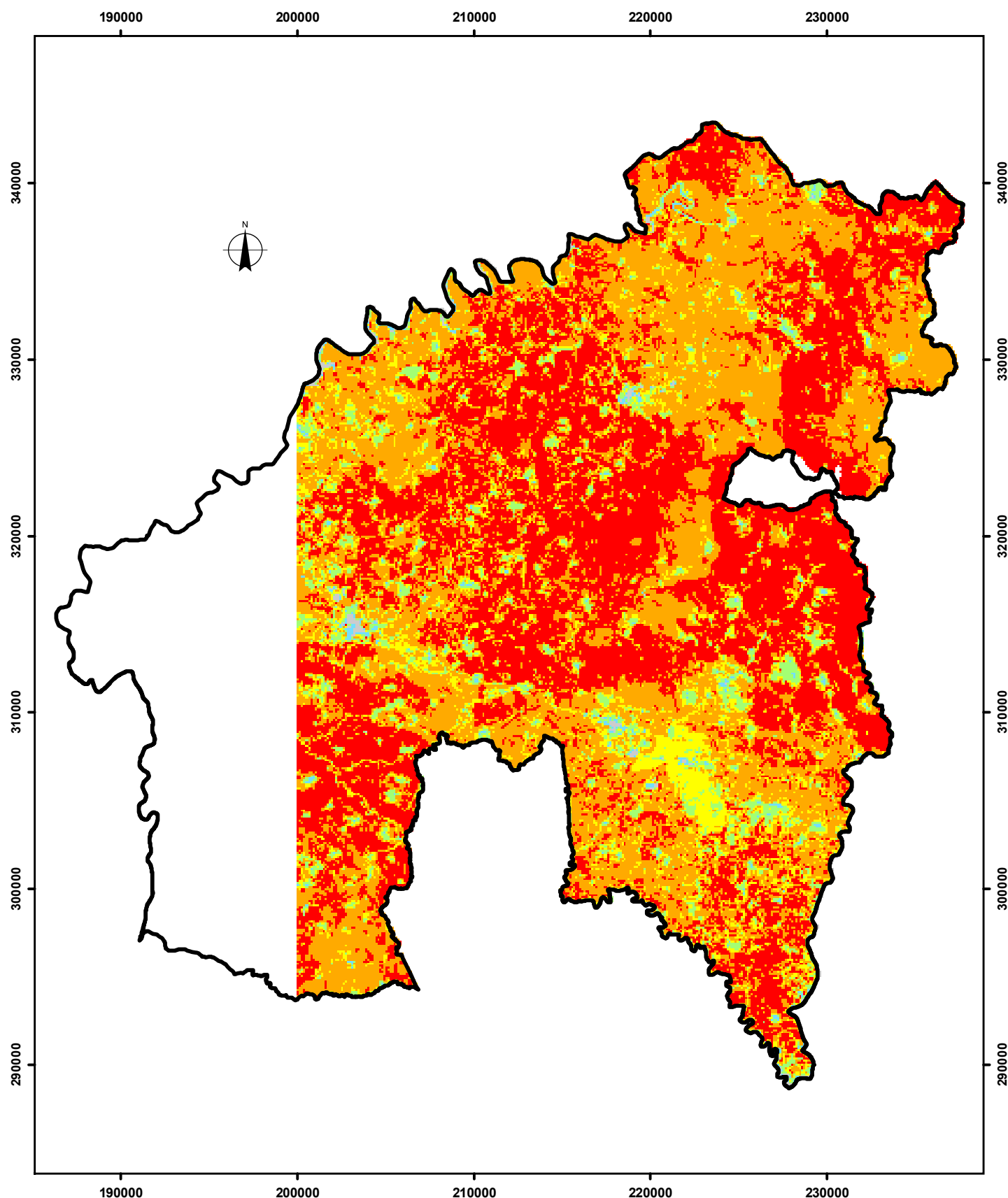
Anexo I - Figura 13

Região do Pinhal Interior Sul
Mapa de Ocupação do Solo CLC 2006







Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

- | | |
|---|---|
|  | 1 : z. húmidas e urbano consolidado : 1,94% |
|  | 2 : urbano não consolidado : 0,75% |
|  | 3 : área agrícola : 12,74% |
|  | 4 : pov. de p. bravo e eucalipto : 1,39% |
|  | 5 : pov. de p. bravo e eucalipto : 41,46% |
|  | 6 : mato e floresta degradada : 41,72% |

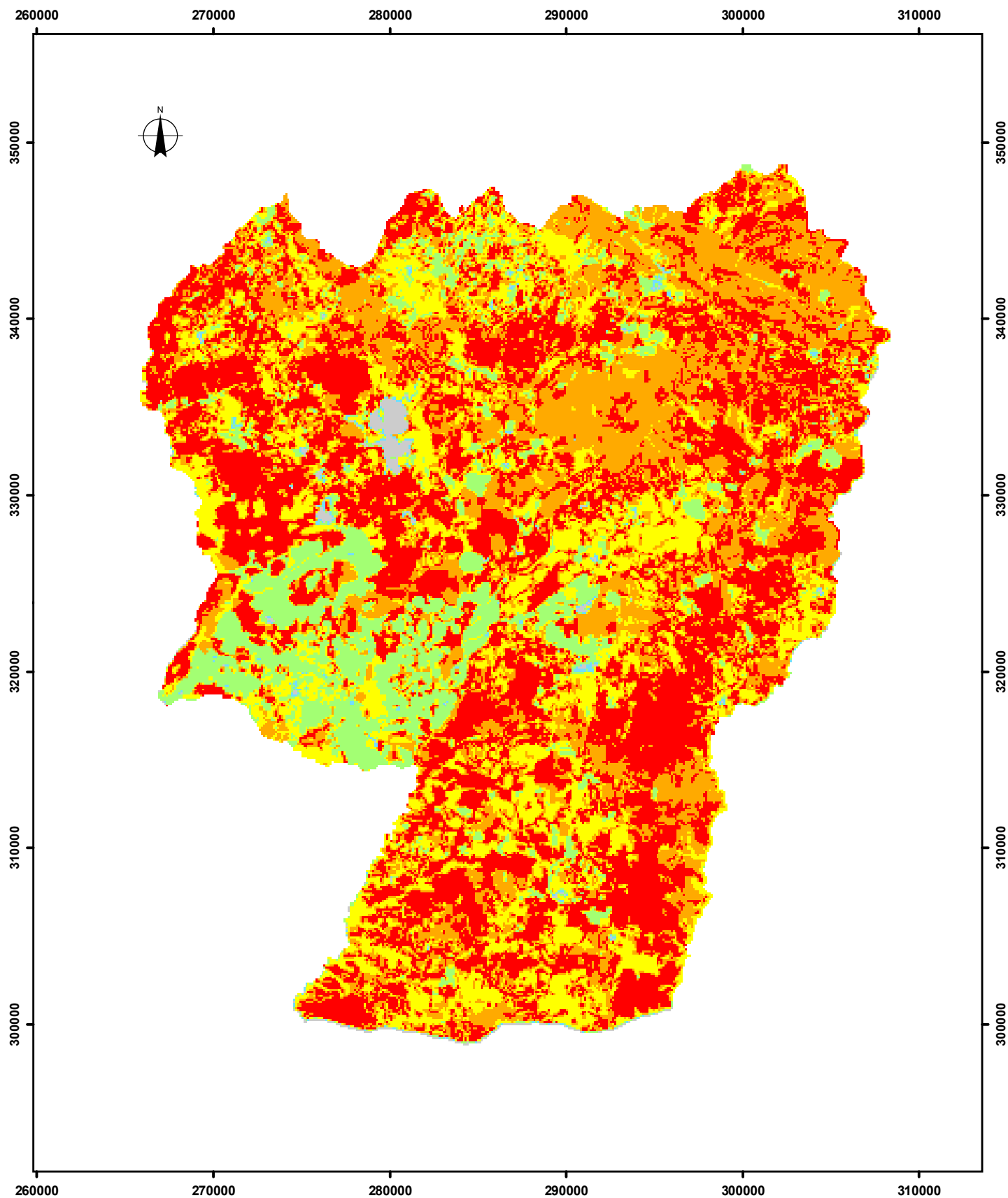
Anexo I - Figura 14

Região do Pinhal Interior Sul
Mapa de Ocupação do Solo, Ocup. 2007

Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
 Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
 Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

- 1 : z. húmidas e urbano consolidado : 1,28%
- 2 : urbano não consolidado : 0,16%
- 3 : área agrícola : 13,30%
- 4 : folhosas diversas (não eucalipto) : 25,05%
- 5 : pov. de p. bravo e eucalipto : 19,71%
- 6 : mato e floresta degradada : 40,50%

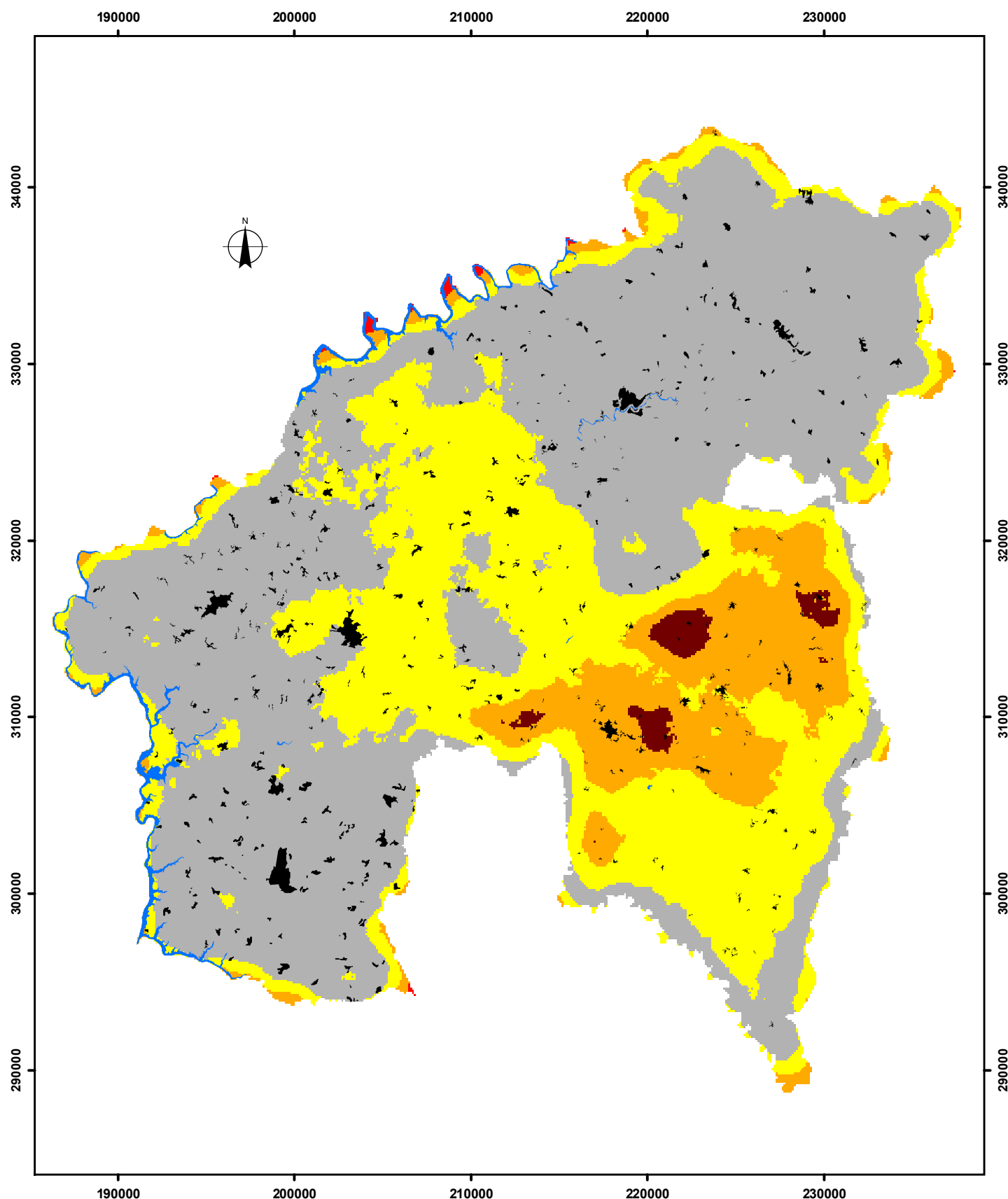
Anexo I - Figura 15

Região de Idanha-a-Nova
Mapa de Ocupação do Solo, Ocup. 2007

Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

- 1 : 20 - 40 m/ha : 55,87%
- 2 : 12 - 20 e 40 - 65 m/ha : 31,63%
- 3 : 5 - 12 e 65 - 80 m/ha : 11,29%
- 4 : < 5 m/ha : 0,17%
- 5 : > 80 m/ha : 1,04%
- aglomerado urbano
- superfície de água

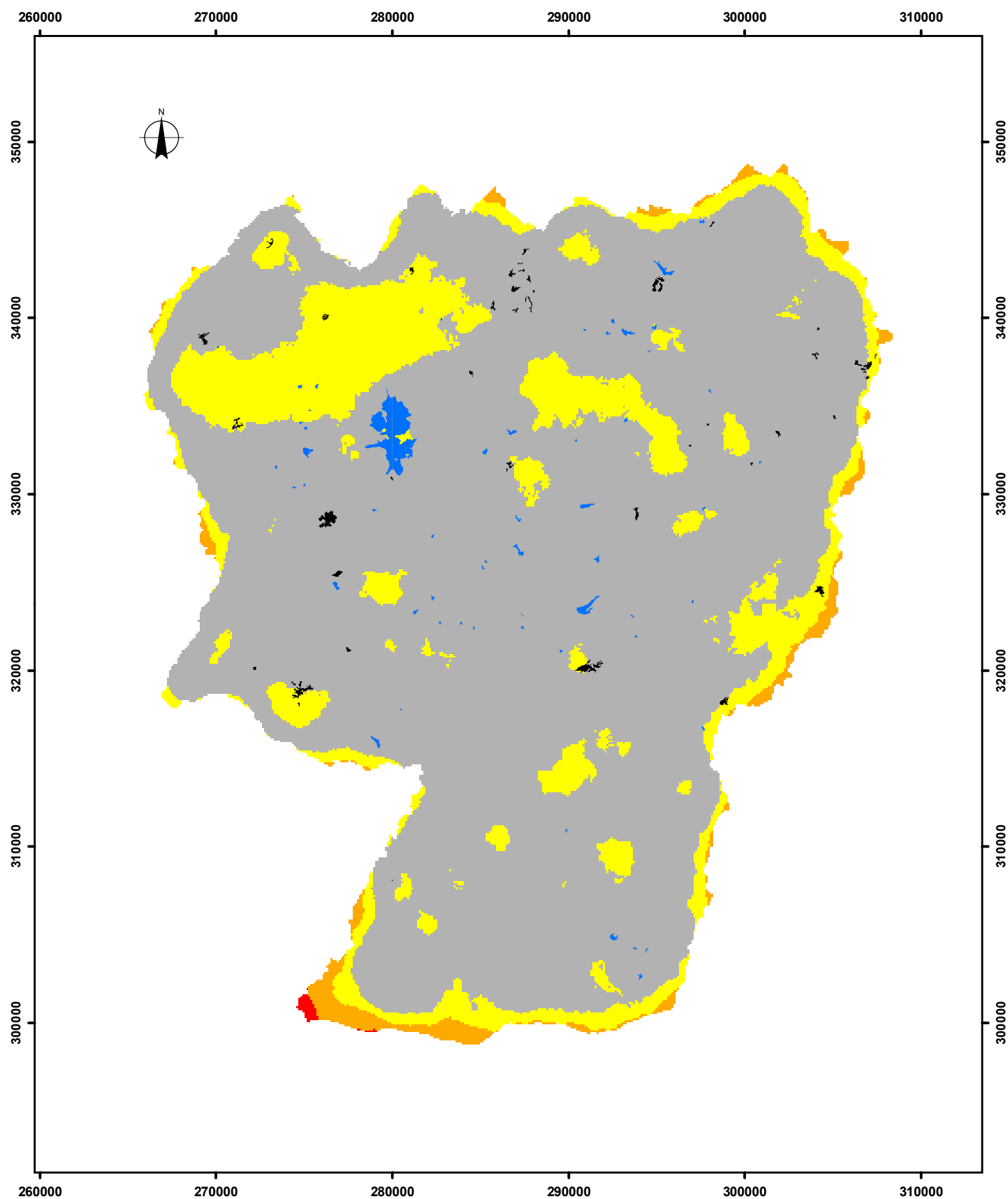
Anexo I - Figura 16

**Região do Pinhal Interior Sul
Mapa de Densidade de Rede Viária**

Escala: 1/300 000

0 2.5 5 10 15 Km

Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

- 1 : 20 - 40 m/ha : 81,00%
- 2 : 12 - 20 e 40 - 65 m/ha : 17,01%
- 3 : 5 - 12 e 65 - 80 m/ha : 1,89%
- 4 : < 5 m/ha : 0,10%

- aglomerado urbano
- superfície de água

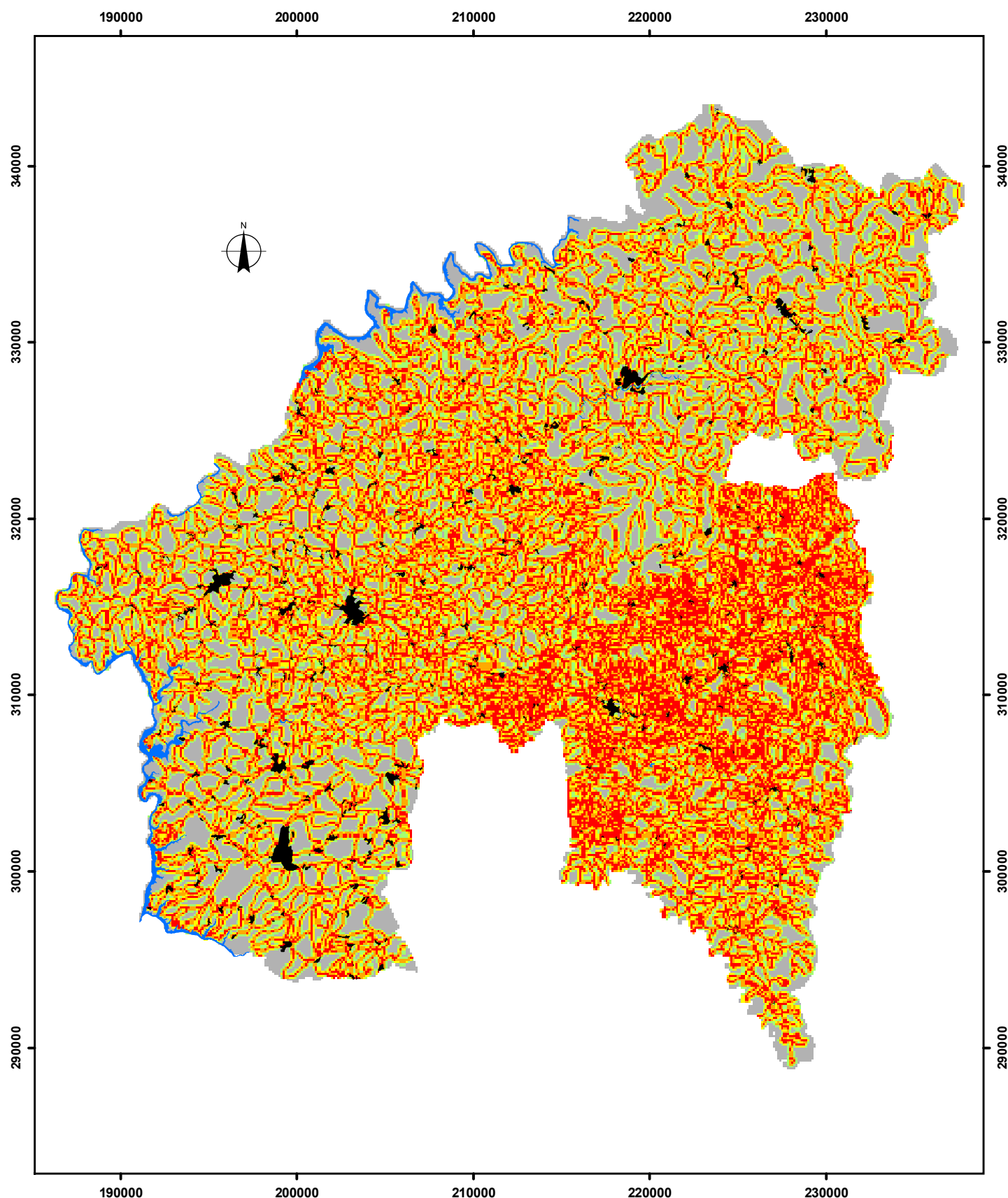
Anexo I - Figura 17

**Região de Idanha-a-Nova
Mapa de Densidade de Rede Viária**








Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

	1 : > 150 m : 22,99%		aglomerado urbano
	2 : 100 - 150 m : 16,13%		superfície de água
	3 : 50 - 100 m : 22,48%		
	4 : 25 - 50 m : 17,03%		
	5 : 0 - 25 m : 21,37%		

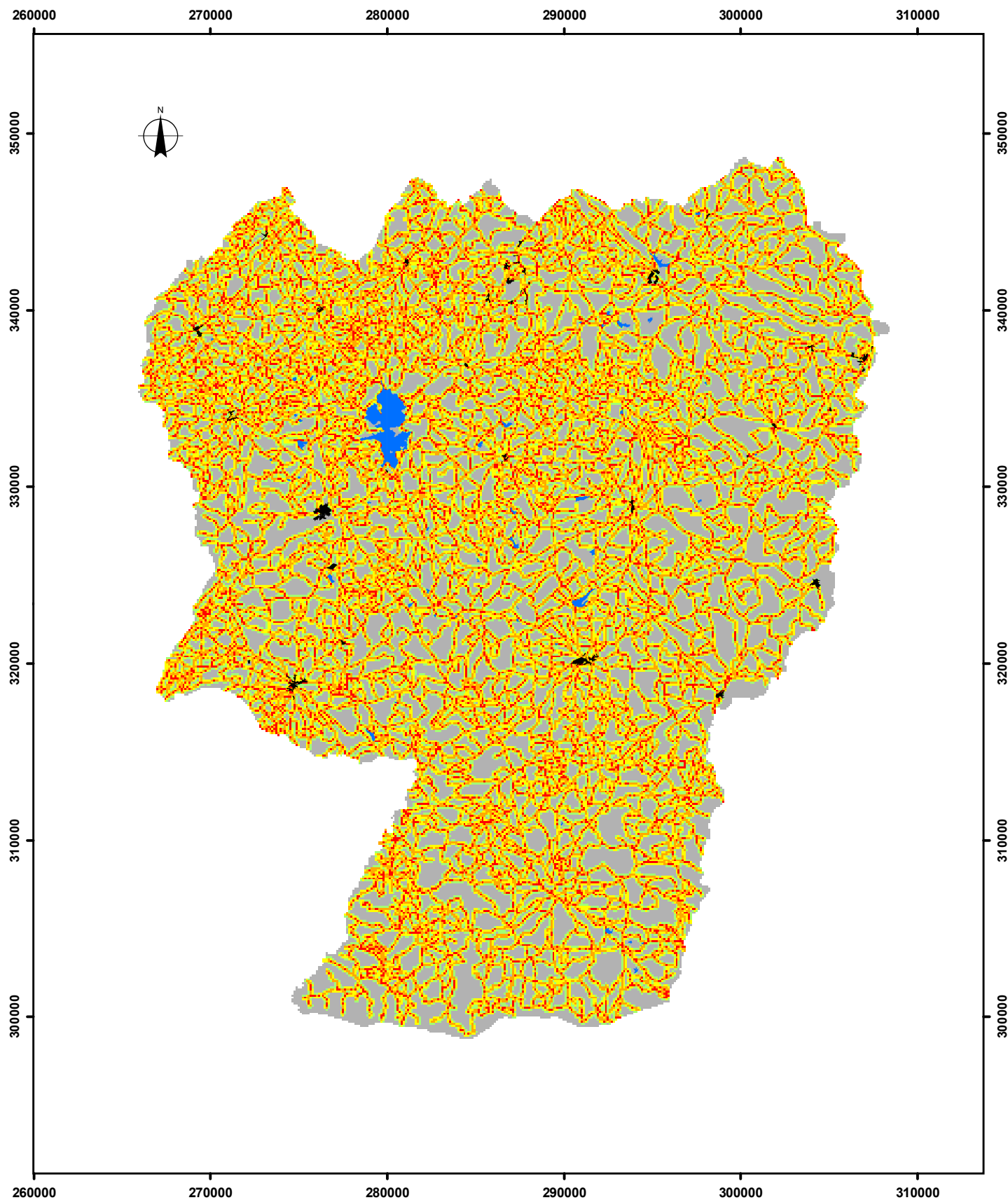
Anexo I - Figura 18

Região do Pinhal Interior Sul
Mapa de Proximidade à Rede Viária

Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

- 1 : > 150 m : 28,08%
- 2 : 100 - 150 m : 16,85%
- 3 : 50 - 100 m : 23,36%
- 4 : 25 - 50 m : 20,32%
- 5 : 0 - 25 m : 11,39%

- aglomerado urbano
- superfície de água

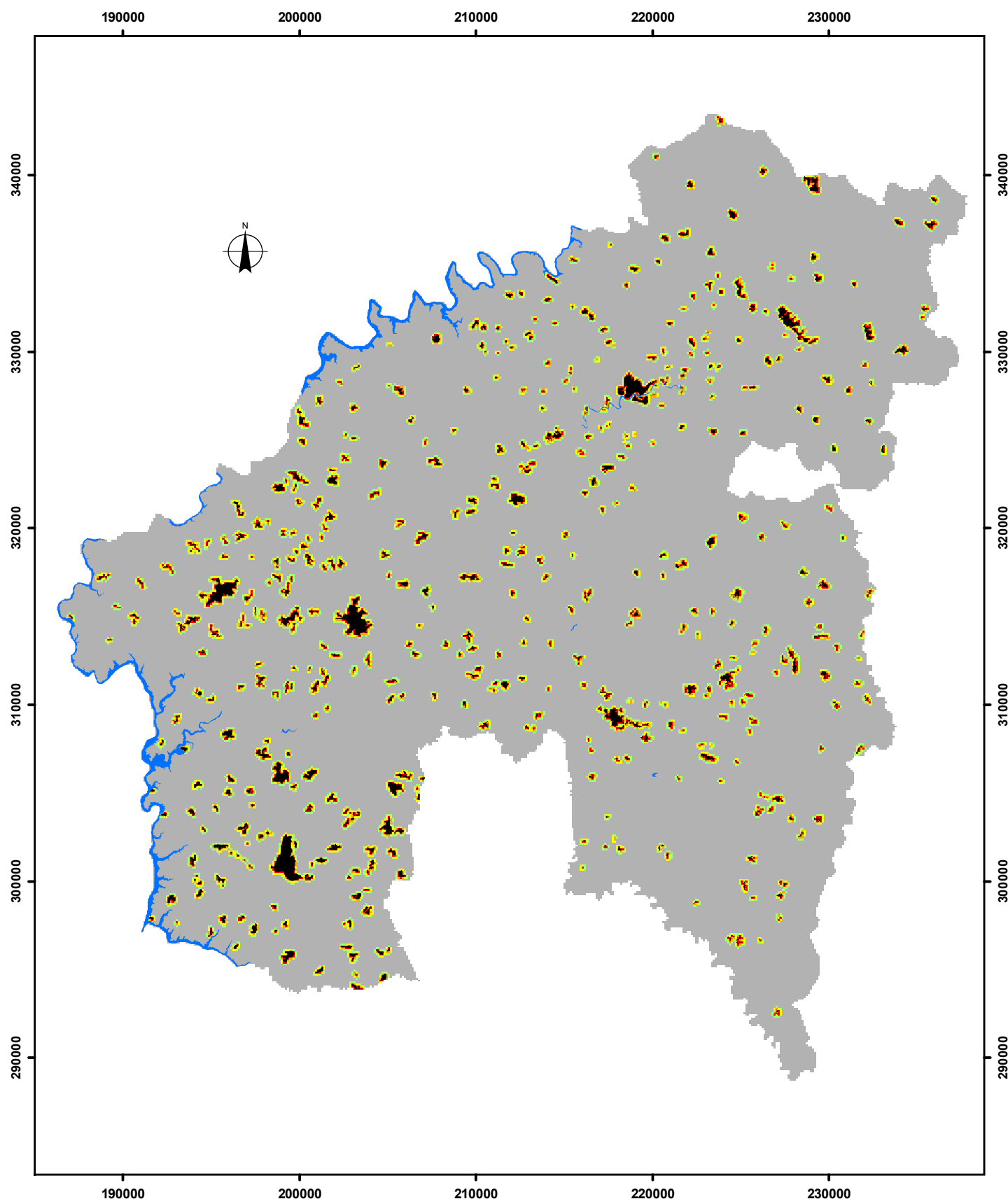
Anexo I - Figura 19

Região de Idanha-a-Nova
Mapa de Proximidade à Rede Viária








Escala: 1/300 000

0 2.5 5 10 15 Km

Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

	1 : > 150 m : 90,65%		aglomerado urbano
	2 : 100 - 150 m : 2,98%		superfície de água
	3 : 50 - 100 m : 2,41%		
	4 : 25 - 50 m : 1,28%		
	5 : 0 - 25 m : 2,68%		

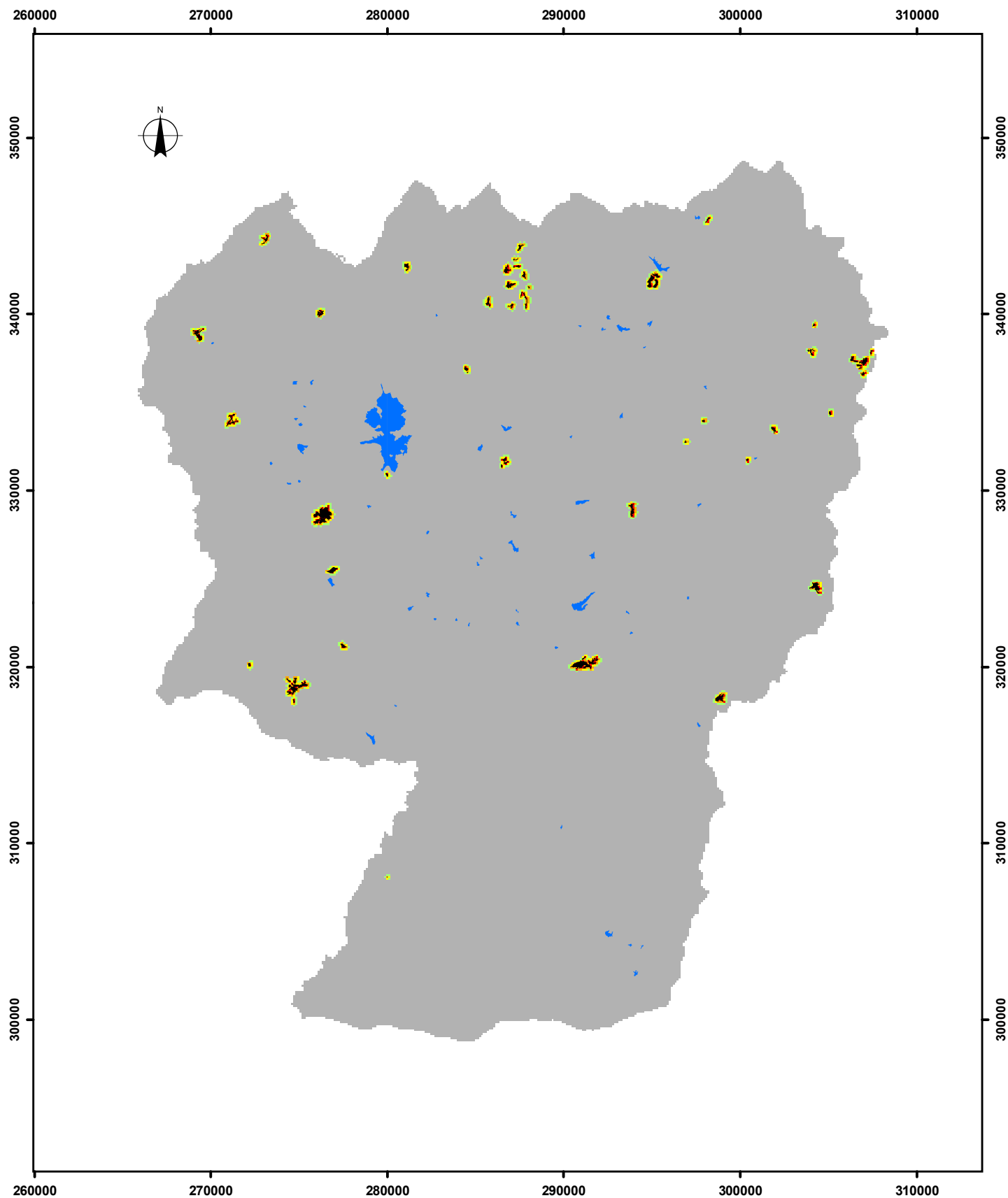
Anexo I - Figura 20

Região do Pinhal Interior Sul
Mapa de Proximidade aos Aglomerados Urbanos

Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

- 1 : > 150 m : 98,88%
- 2 : 100 - 150 m : 0,33%
- 3 : 50 - 100 m : 0,31%
- 4 : 25 - 50 m : 0,22%
- 5 : 0 - 25 m : 0,26%

- aglomerado urbano
- superfície de água

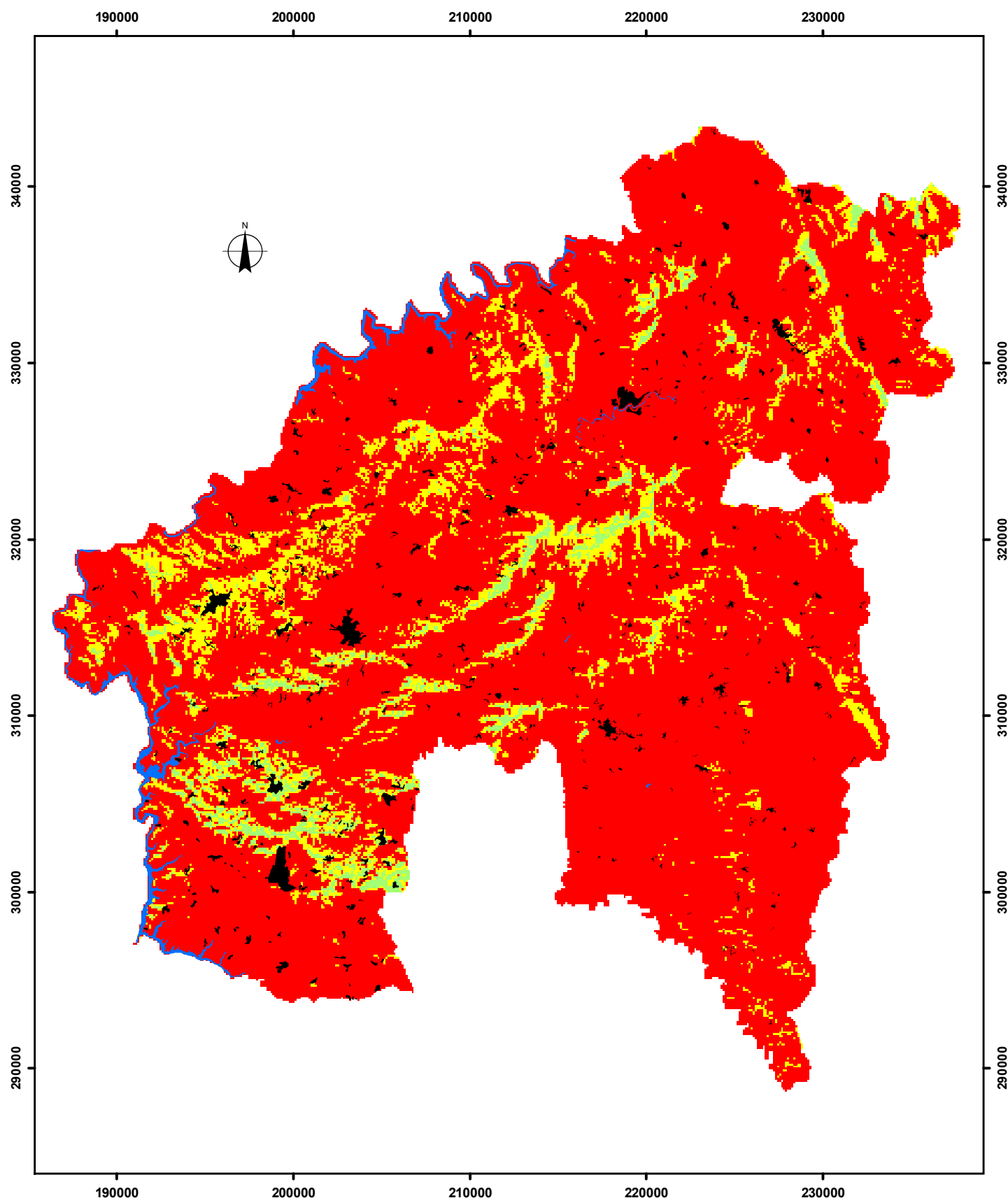
Anexo I - Figura 21

Região de Idanha-a-Nova
Mapa de Proximidade aos Aglomerados Urbanos

Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

- 1 : visível por 2 (+) PV : 5,23%
- 2 : visível por 1 PV : 12,76%
- 3 : área oculta : 82,01%
- aglomerado urbano
- superfície de água

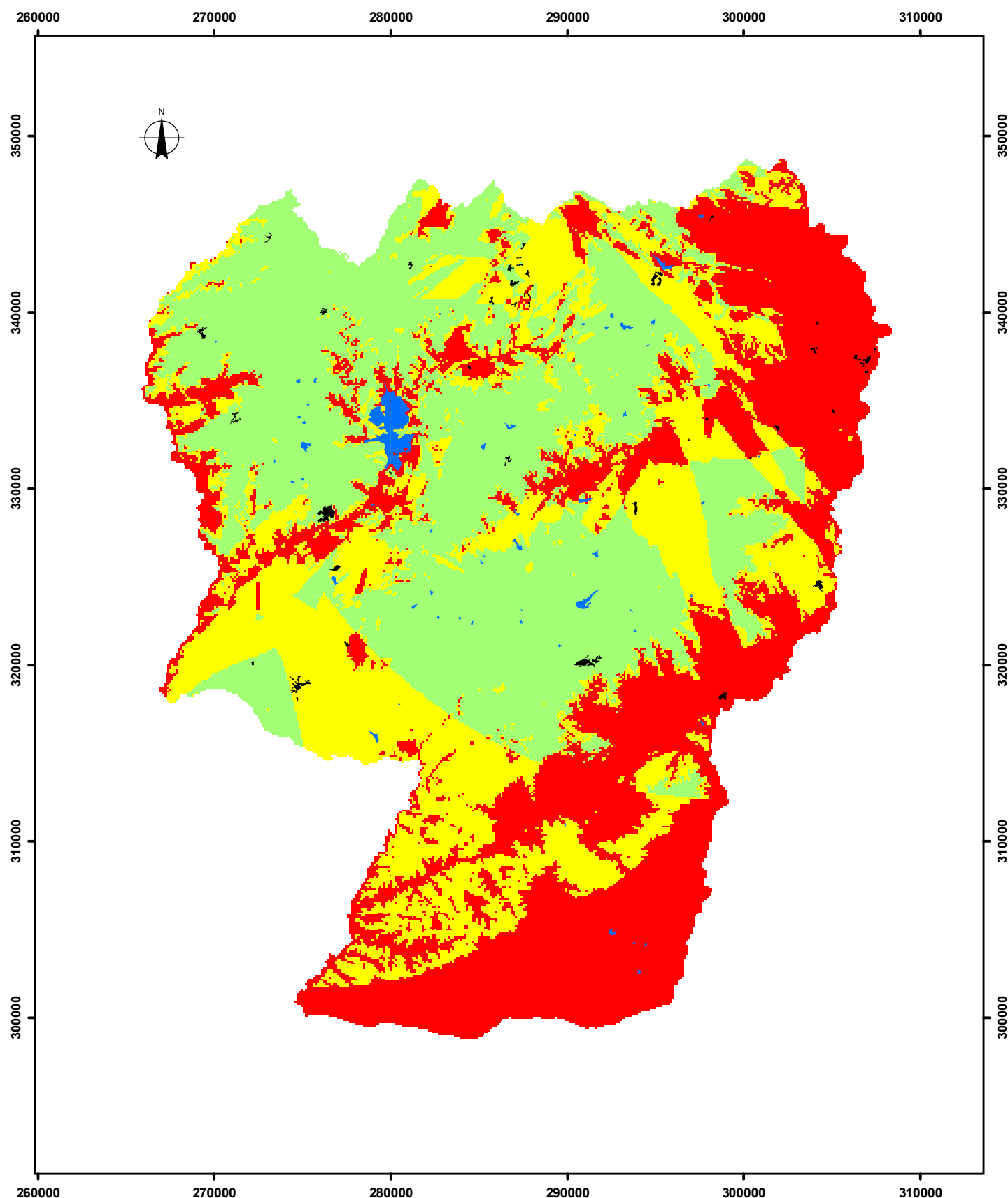
Anexo I - Figura 22

Região do Pinhal Interior Sul
Mapa de Visibilidade dos Postos de Vigia

Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

- 1 : visível por 2 (+) PV : 38,06%
- 2 : visível por 1 PV : 28,22%
- 3 : área oculta : 33,72%

- aglomerado urbano
- superfície de água

Anexo I - Figura 23

Região de Idanha-a-Nova
Mapa de Visibilidade da Rede de Postos de Vigia

Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
 Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
 Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y

Anexo II

Modelo de probabilidade de incêndio florestal calculado para a região do Pinhal Interior Sul

Logistic Regression Results:

Regression Equation :

$$\begin{aligned}\text{logit}(\text{pontcf8_pis}) = & -11.9810 + 1.073327*\text{cos90} + 0.805919*\text{declive} \\ & + 0.188025*\text{exposição} + 0.133514*\text{altimetria} + 0.681790*\text{RV_distancia} \\ & + 0.053911*\text{RV_densidade} - 0.295402*\text{urb_distancia} + 0.066949*\text{visib_posto_vigia}\end{aligned}$$

Individual Regression Coefficient

Variables	Coefficient

Intercept	-11.9810
cos90	1.073327
declive	0.805919
exposição	0.188025
altimetria	0.133514
RV_distancia	0.681790
RV_densidade	0.053911
urb_distancia	-0.295402
visib_posto_vigia	0.066949

Regression Statistics :

Number of total observations = 351
Number of 0s in study area = 175
Number of 1s in study area = 176
Percentage of 0s in study area = 49.8575
Percentage of 1s in study area = 50.1425

Number of auto-sampled observations = 351
Number of 0s in sampled area = 175
Number of 1s in sampled area = 176
Percentage of 0s in sampled area = 49.8575
Percentage of 1s in sampled area = 50.1425

$-2\log L_0 = 486.5865$
 $-2\log(\text{likelihood}) = 317.4648$
Pseudo $R^2_{\text{square}} = 0.3476$
Goodness of Fit = 290.8926
 $\text{ChiSquare}(8) = 169.1217$

Means and Standard Deviations

	Mean	Standard Deviation
cos90	4.763533	1.711618
declive	3.475783	1.364388
exposição	3.683761	1.869987
altimetria	5.105413	1.855571
RV_distancia	3.245014	1.303762
RV_densidade	4.396011	0.828000
urb_distancia	1.179487	0.712525
visib_posto_vigia	2.777778	0.525538
pontcf8_pis	0.501425	0.500712

Classification of cases & odds ratio

Observed	Fitted_0	Fitted_1	Percent Correct
0	132	43	75.4286
1	36	140	79.5455

Odds Ratio = 11.9380

Reclassification of cases & ROC (Sample-based computation when applicable):

- (1) Select a new threshold value such that, after reclassification, the number of fitted 1s matches the number of observed 1s in the dependent variable

New cutting threshold = 0.5211

Classification of cases & odds ratio by using the new threshold

Observed | Fitted_0 | Fitted_1 | Percent Correct

0 | 135 40 77.1429

1 | 40 136 77.2727

Adjusted Odds Ratio = 11.4750

True Positive = 86.6242%

False Positive = 22.8571%

(2) ROC* Result with 100 thresholds (Sample-based computation when applicable):

ROC = 0.8627

* ROC=1 indicates a perfect fit; and ROC=0.5 indicates a random fit.

Anexo III

Modelo de probabilidade de incêndio florestal calculado para a região de Idanha-a-Nova

Logistic Regression Results:

Regression Equation :

$$\begin{aligned}\text{logit}(\text{pont_cifr2}) = & -1.7374 + 1.884788*\text{cos90} + 0.101146*\text{declive} \\ & + 0.051077*\text{exposição} + 0.003684*\text{altimetria} + 0.509471*\text{RV_distancia} \\ & + 0.433405*\text{RV_densidade} + 0.278344*\text{visib_posto_vigia} - 7.155037*\text{urb_distancia}\end{aligned}$$

Individual Regression Coefficient

Variables	Coefficient

Intercept	-1.7374
cos90	1.884788
declive	0.101146
exposição	0.051077
altimetria	0.003684
RV_distancia	0.509471
RV_densidade	0.433405
visib_posto_vigia	0.278344
urb_distancia	-7.155037

Regression Statistics :

Number of total observations = 478
Number of 0s in study area = 239
Number of 1s in study area = 239
Percentage of 0s in study area = 50.0000
Percentage of 1s in study area = 50.0000

Number of auto-sampled observations = 478
Number of 0s in sampled area = 239
Number of 1s in sampled area = 239
Percentage of 0s in sampled area = 50.0000
Percentage of 1s in sampled area = 50.0000

$-2\log L_0 = 662.6487$
 $-2\log(\text{likelihood}) = 442.7707$
Pseudo $R^2_{\text{square}} = 0.3318$
Goodness of Fit = 487.2701
 $\text{ChiSquare}(8) = 219.8780$

Means and Standard Deviations

	Mean	Standard Deviation
cos902	5.345188	0.876007
declive	2.880753	1.062218
exposição	5.878661	2.157801
altimetria	4.914226	1.029424
RV_distancia	3.041841	0.845711
RV_densidade	2.259414	0.488511
visib_posto_vigia	3.000000	0.856594
urb_distancia	2.027197	0.269507
pont_cifr2	0.500000	0.500524

Classification of cases & odds ratio

Observed	Fitted_0	Fitted_1	Percent Correct
0	168	71	70.2929
1	33	206	86.1925

Odds Ratio = 14.7708

Reclassification of cases & ROC (Sample-based computation when applicable):

- (1) Select a new threshold value such that, after reclassification, the number of fitted 1s matches the number of observed 1s in the dependent variable

New cutting threshold = 0.5946

Classification of cases & odds ratio by using the new threshold

Observed | Fitted_0 | Fitted_1 | Percent Correct

0 | 189 50 79.0795
1 | 50 189 79.0795

Adjusted Odds Ratio = 14.2884

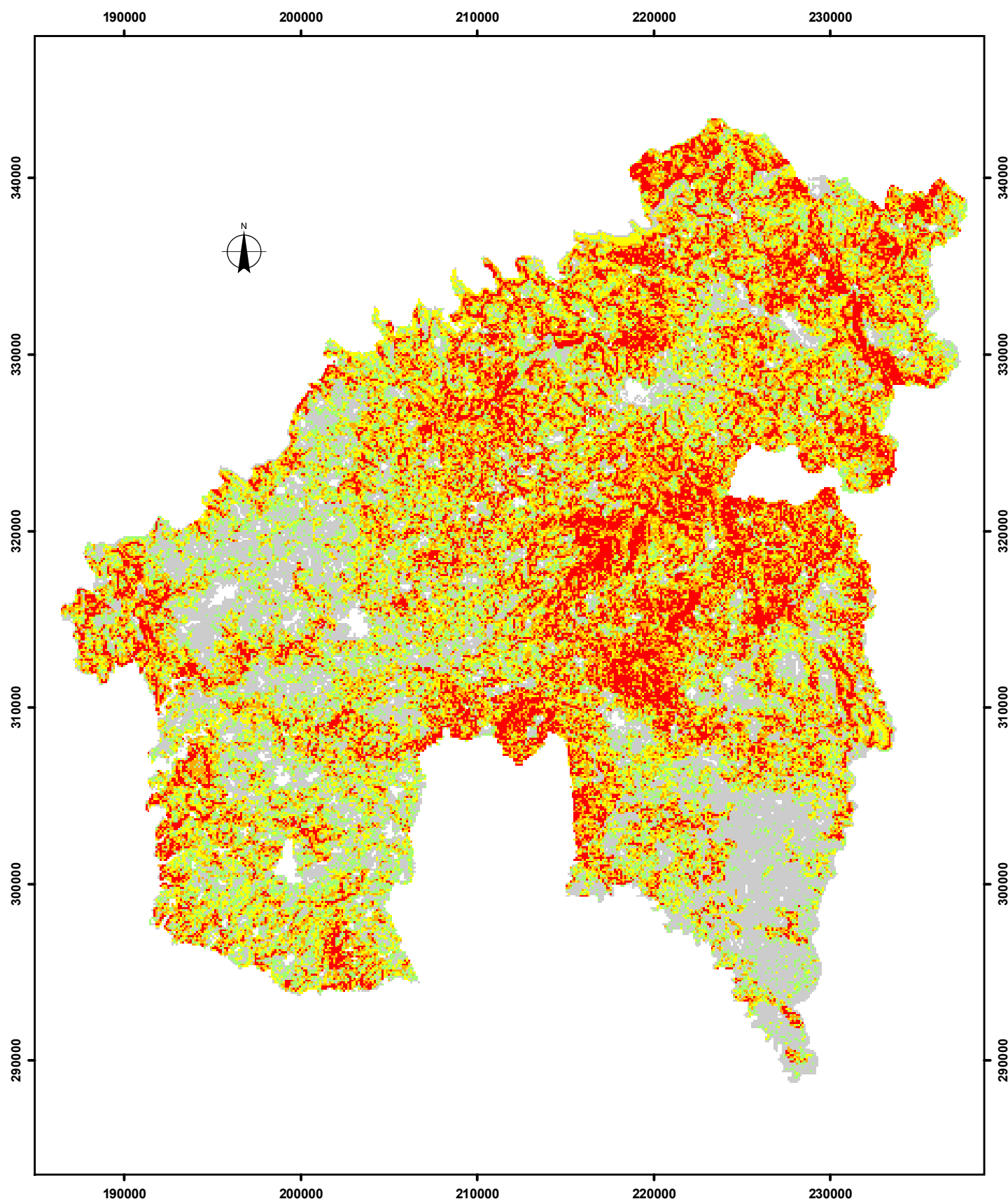
True Positive = 90.0000%

False Positive = 20.9205%

(2) ROC* Result with 100 thresholds (Sample-based computation when applicable):

ROC = 0.8528

* ROC=1 indicates a perfect fit; and ROC=0.5 indicates a random fit.



Legenda:

- muito baixa : 19,9%
- baixa : 20,3%
- média : 20,3%
- alta : 19,9%
- muito alta : 19,6%

Anexo IV - Figura 24

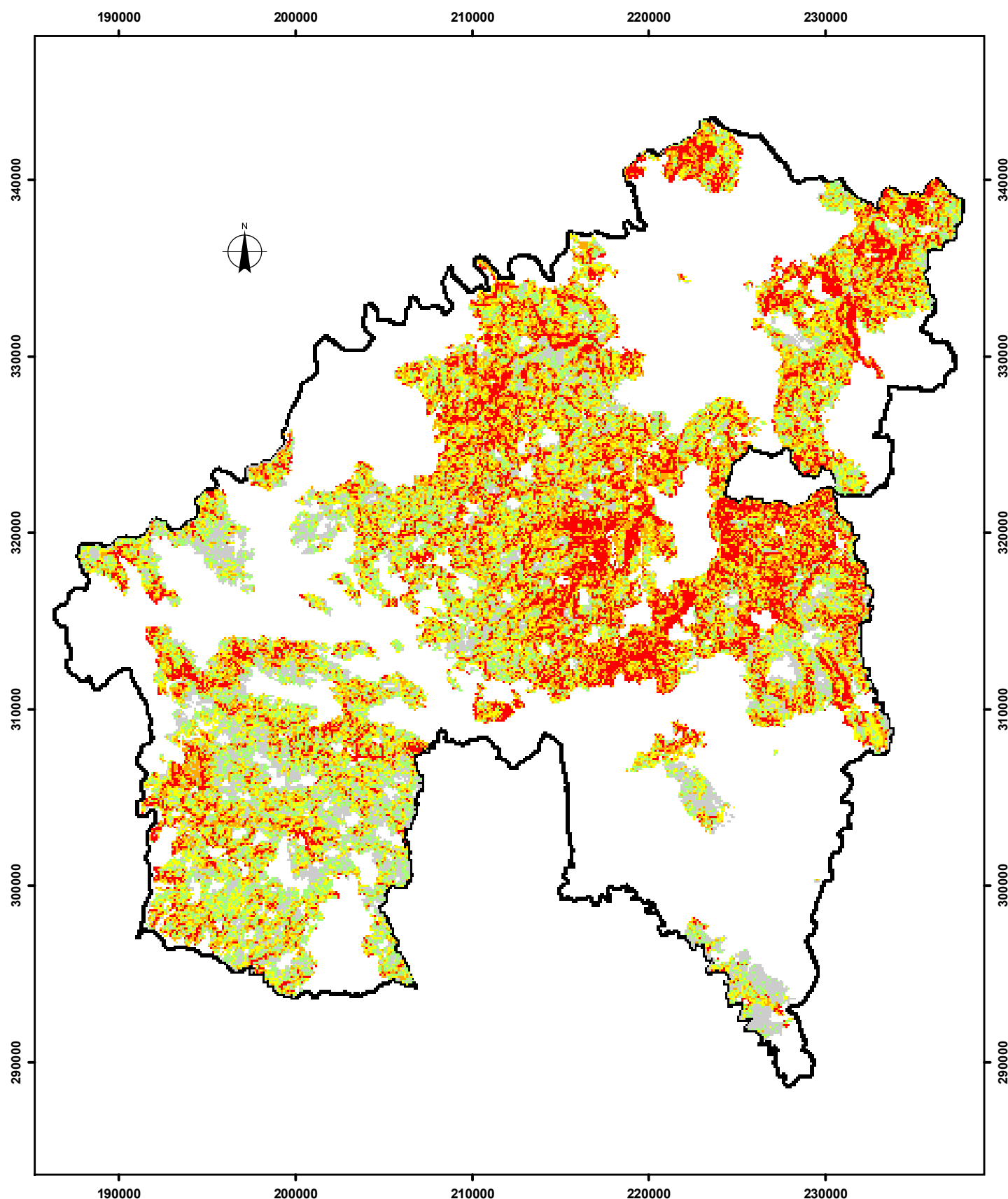
Região do Pinhal Interior Sul
Cenário de Probabilidade de Incêndio Florestal
com a Ocup. CLC 2000

Escala: 1/300 000

0 2.5 5 10 15 Km

Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
 Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
 Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y





Legenda:

- muito baixa : 13,5%
- baixa : 20,9%
- média : 21,8%
- alta : 22,1%
- muito alta : 21,7%
- limite PIS

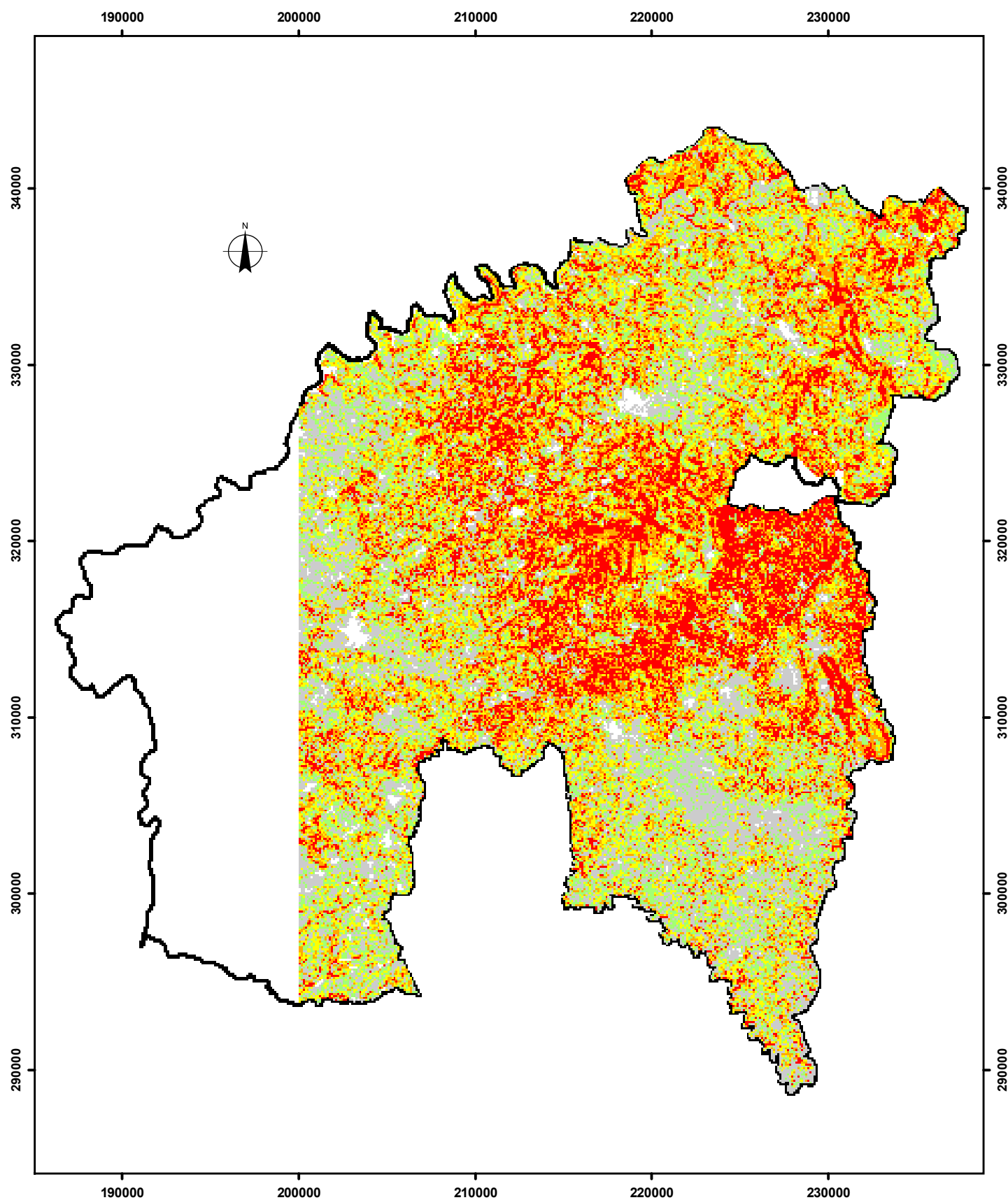
Anexo IV - Figura 25

Região do Pinhal Interior Sul
Cenário de Probabilidade de Incêndio Florestal (CLC 2000)
com a Área Ardida 2000 - 2006

Escala: 1/300 000



Projeção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
 Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
 Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

- muito baixa : 19,6%
- baixa : 20,2%
- média : 20,3%
- alta : 20,3%
- muito alta : 19,6%
- limite PIS

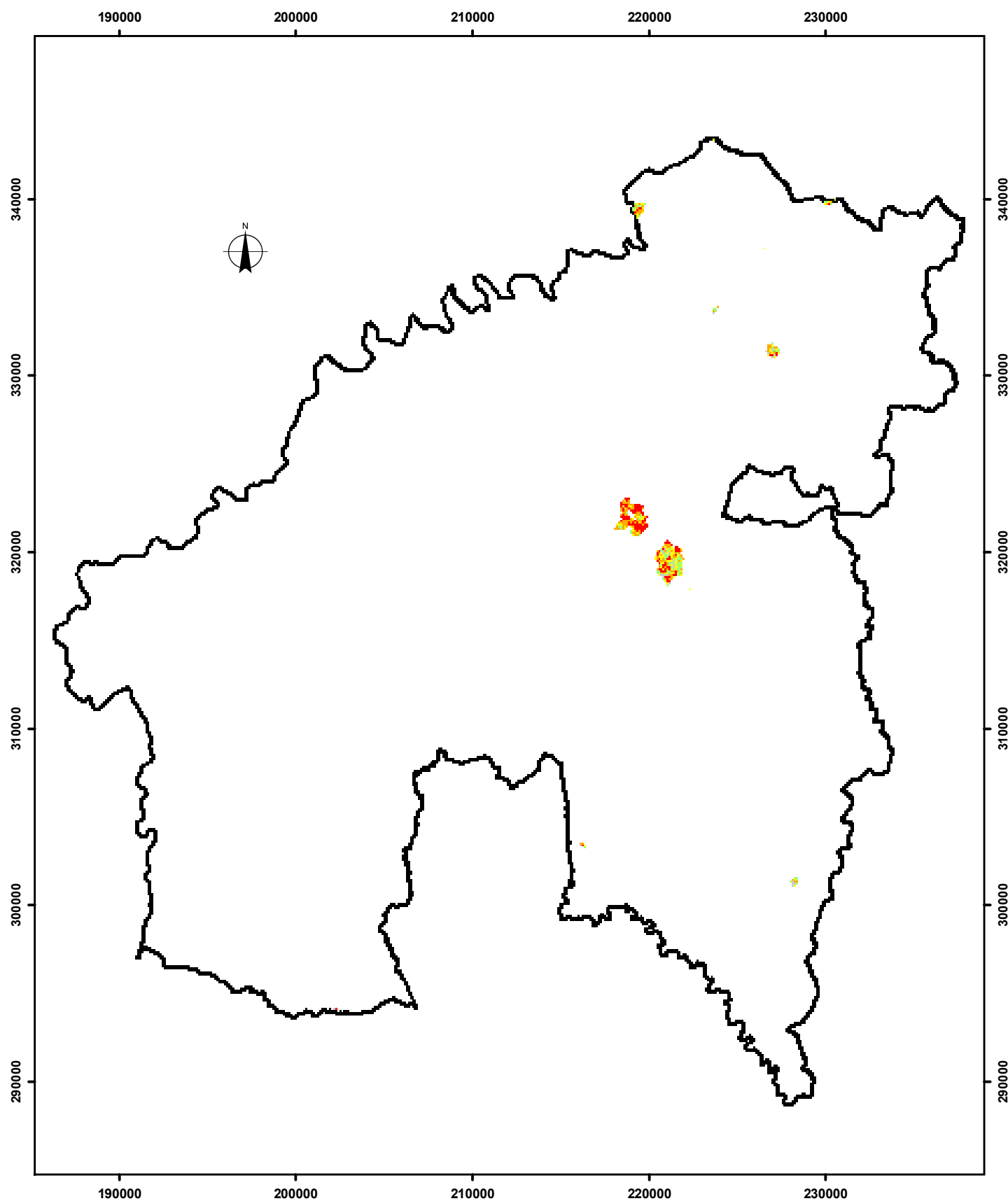
Anexo IV - Figura 26

**Região do Pinhal Interior Sul
Cenário de Probabilidade de Incêndio Florestal
com a Ocup. 2007**

Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

- muito baixa : 4,4%
- baixa : 15,8%
- média : 22,3%
- alta : 28,2%
- muito alta : 29,3%
- limite PIS

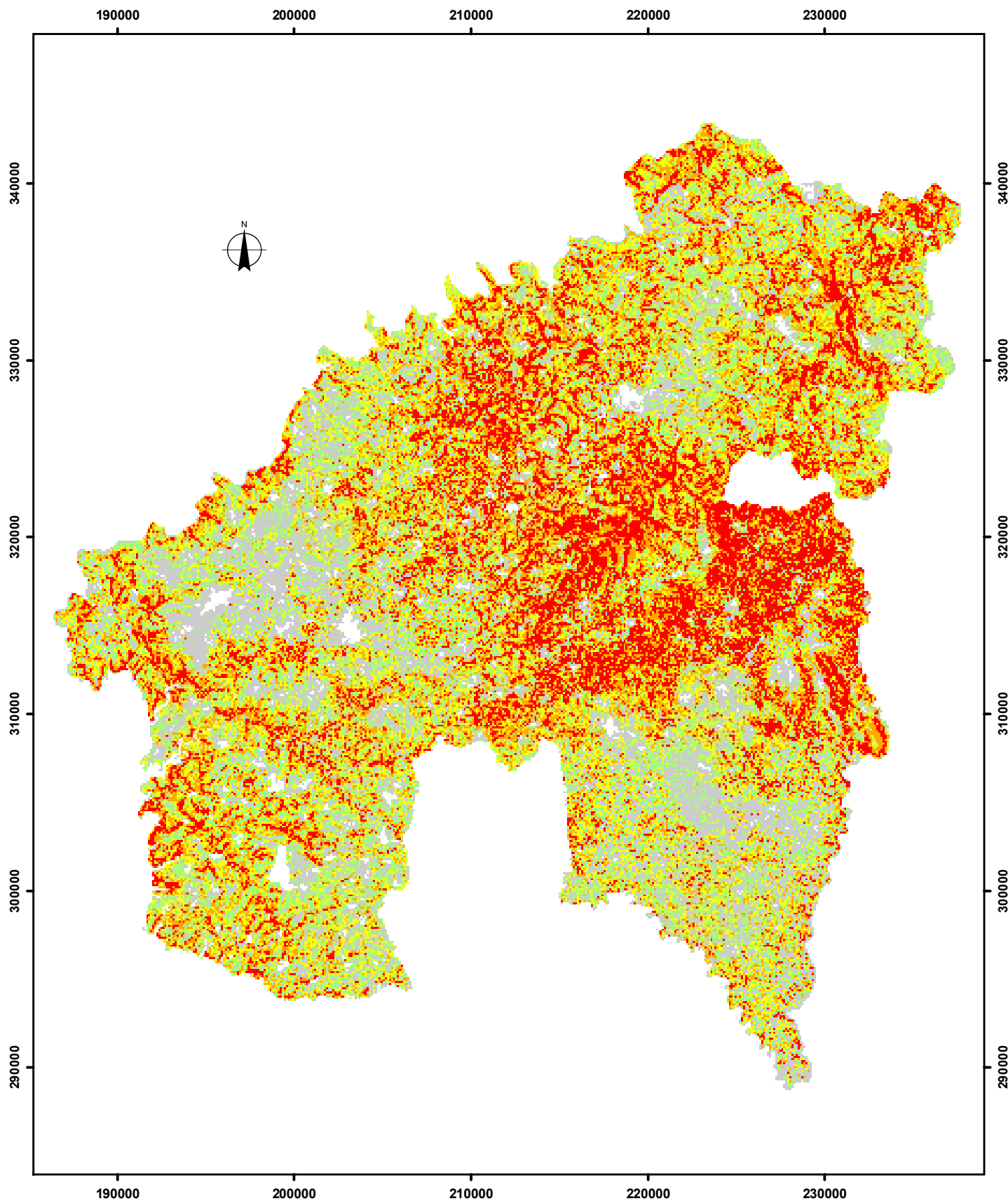
Anexo IV - Figura 27

Região do Pinhal Interior Sul
Cenário de Probabilidade de Incêndio Florestal
(Ocup. 2007) com a Área Ardida 2007 - 2011

Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
 Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
 Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

- muito baixa : 19,9%
- baixa : 20,0%
- média : 20,2%
- alta : 20,1%
- muito alta : 19,8%

Anexo IV - Figura 28

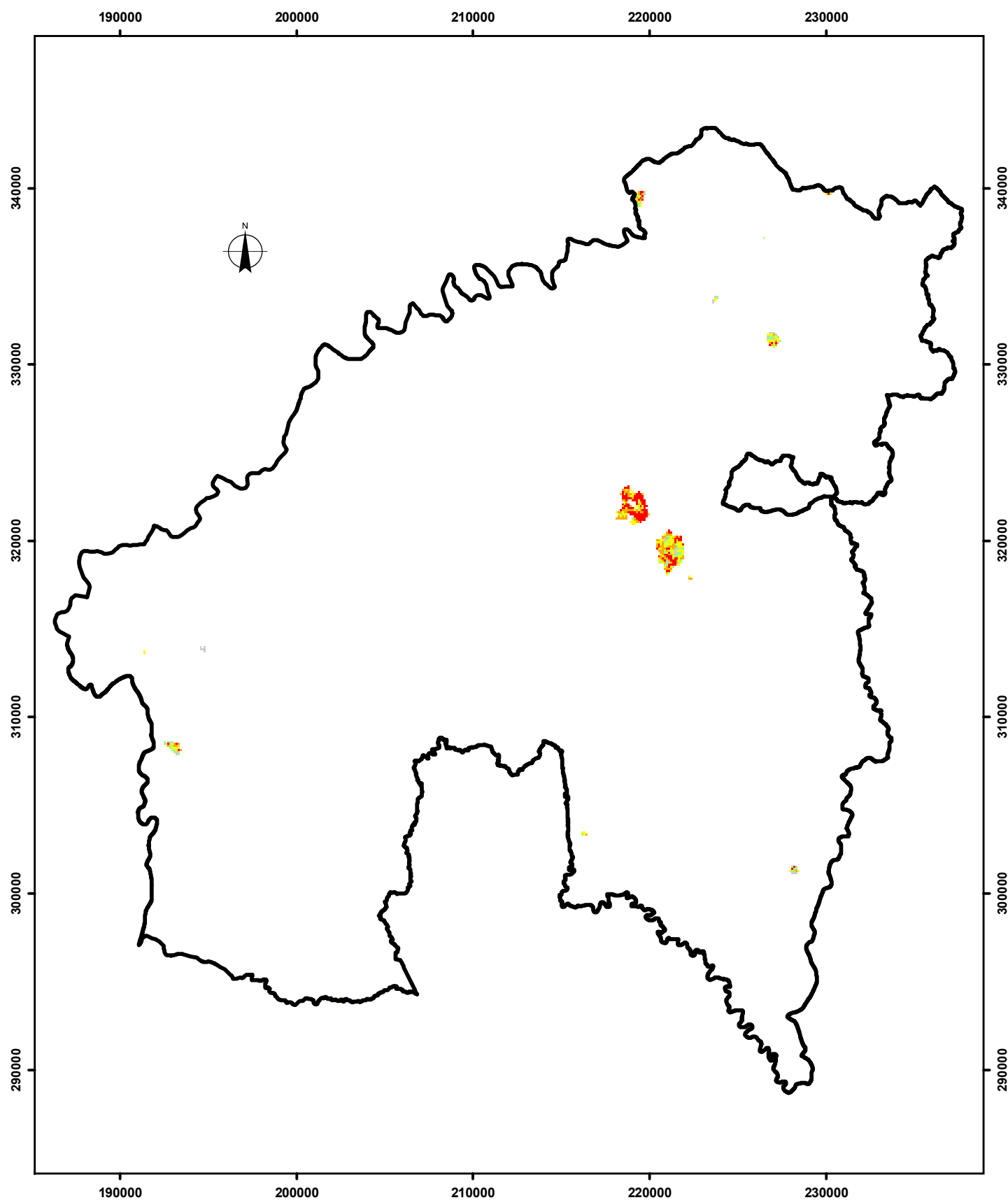
Região do Pinhal Interior Sul
Cenário de Probabilidade de Incêndio Florestal
com a Ocup. 2007 e CLC 2006

Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
 Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
 Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y





Legenda:

- muito baixa : 7,1%
- baixa : 15,8%
- média : 21,8%
- alta : 25,8%
- muito alta : 29,5%
- limite PIS

Anexo IV - Figura 29

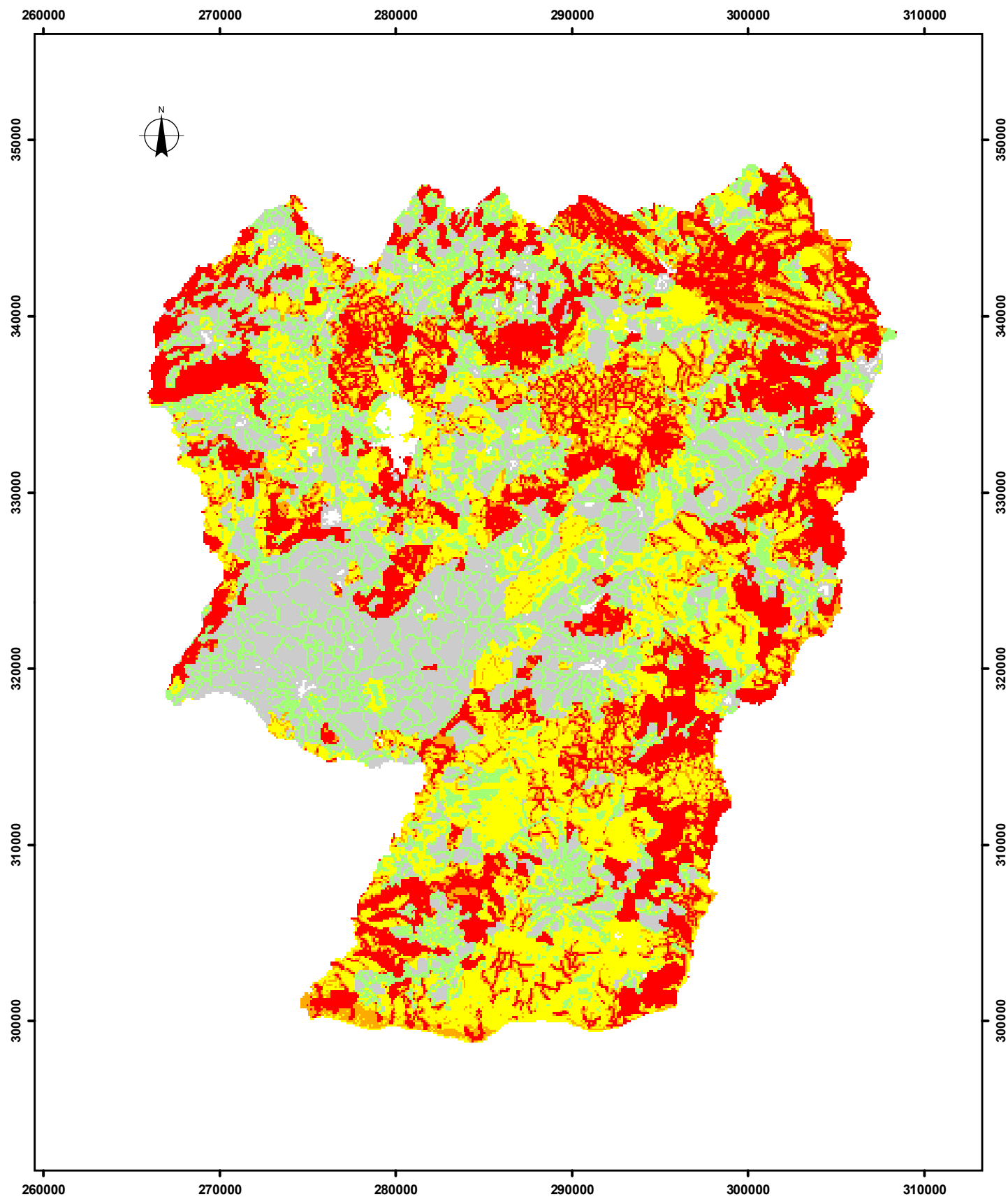
Região do Pinhal Interior Sul
Cenário de Probabilidade de Incêndio Florestal
(Ocup. 2007 + CLC 2006) com a Área Ardida 2007 - 2011

Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
 Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
 Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y





Legenda:

- muito baixa : 20,2%
- baixa : 20,3%
- média : 19,9%
- alta : 14,0%
- muito alta : 25,6%

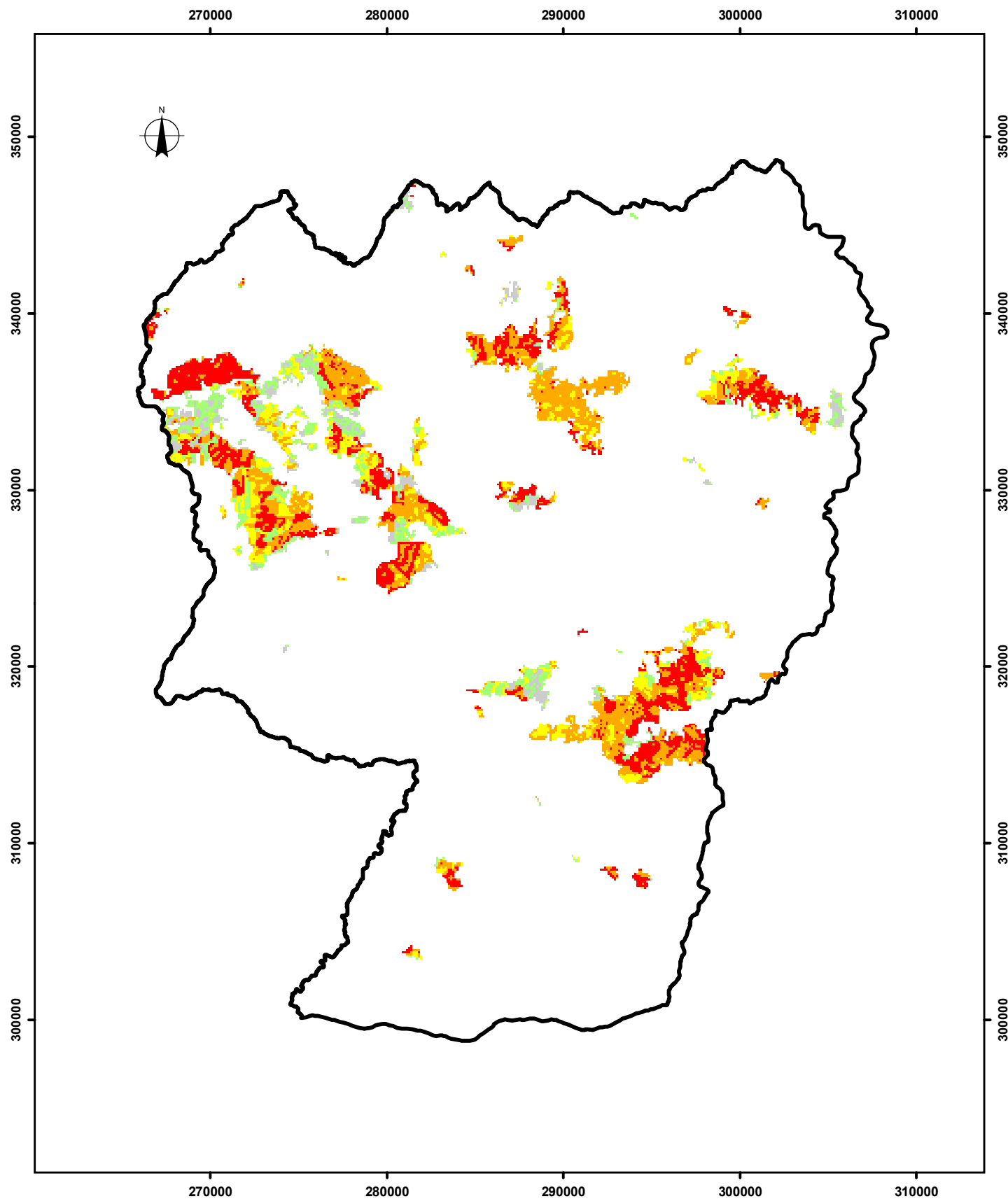
Anexo V - Figura 30

Região de Idanha-a-Nova
Cenário de Probabilidade de Incêndio Florestal
com a Ocup. CLC 2000

Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
 Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
 Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

- muito baixa : 7.3%
- baixa : 13.3%
- média : 16.1%
- alta : 35.4%
- muito alta : 27.9%
- limite Idanha

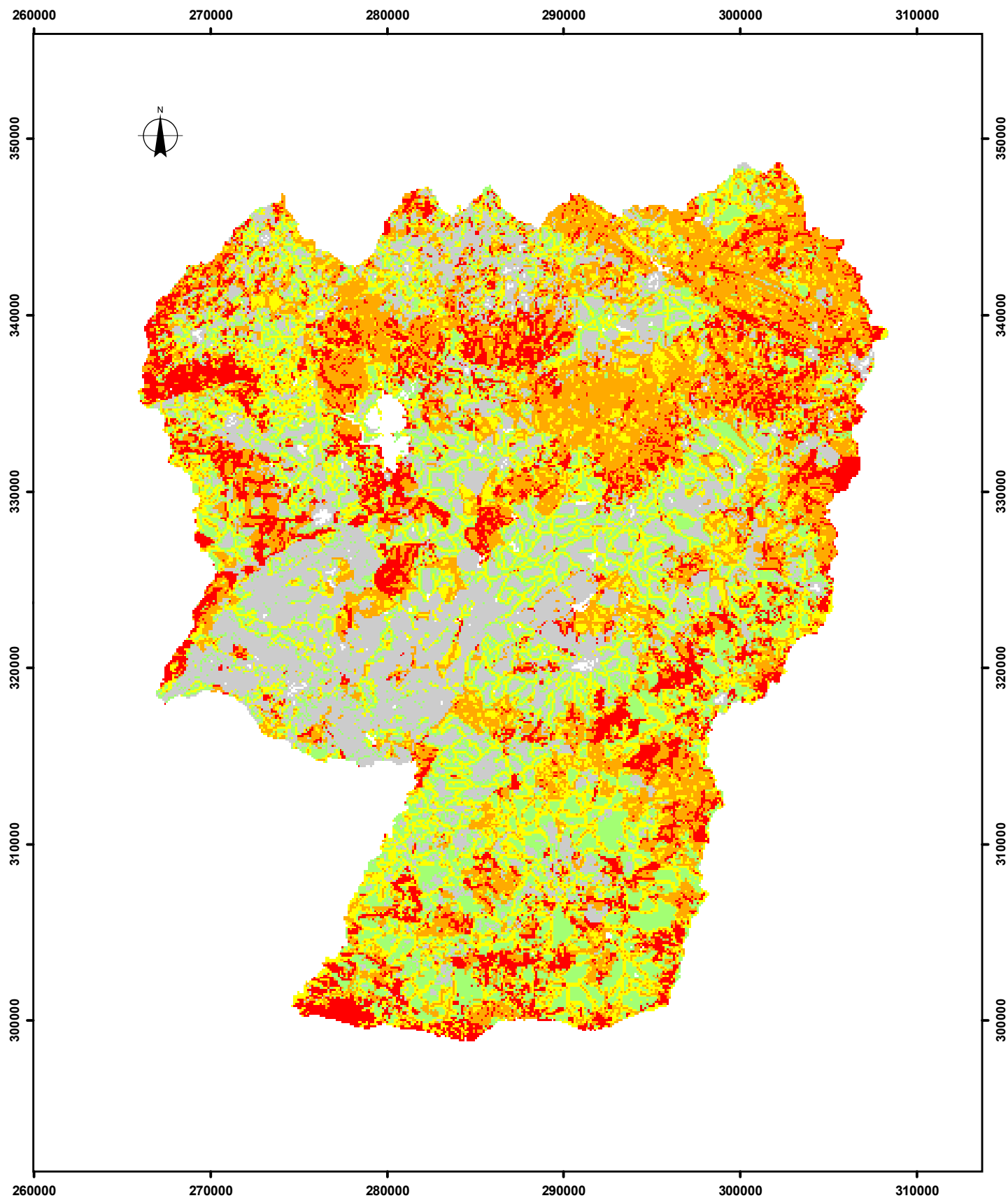
Anexo V - Figura 31

Região de Idanha-a-Nova
Cenário de Probabilidade de Incêndio Florestal
(CLC 2000) com a Área Ardida 2000 - 2006

Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
 Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
 Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

- muito baixa : 20,1%
- baixa : 20,1%
- média : 20,5%
- alta : 24,9%
- muito alta : 14,4%

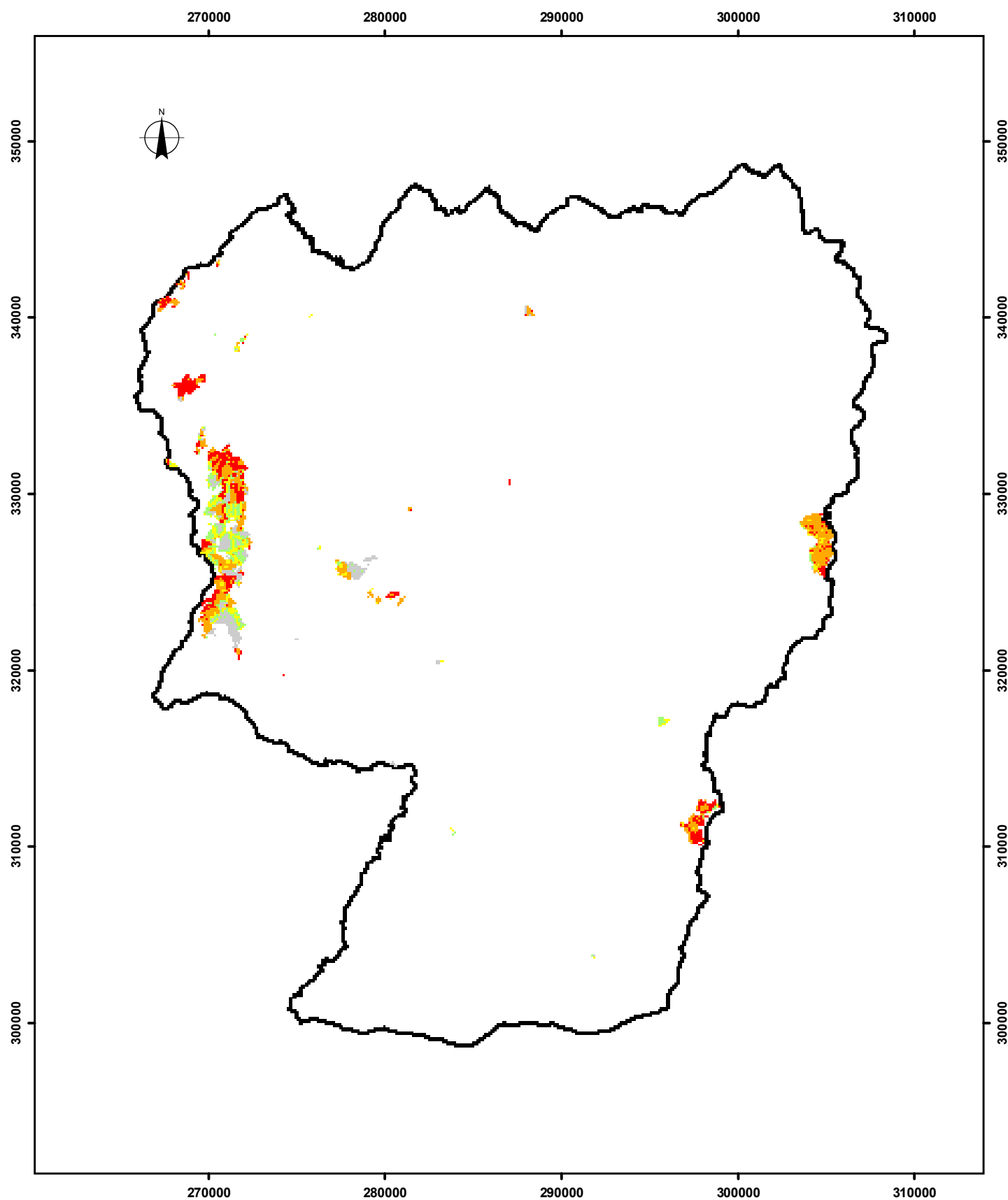
Anexo V - Figura 32

Região de Idanha-a-Nova
Cenário de Probabilidade de Incêndio Florestal
com a Ocup. 2007

Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
 Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
 Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y



Legenda:

- muito baixa : 14.3%
- baixa : 14.2%
- média : 13.8%
- alta : 32.8%
- muito alta : 24.9%
- limite Idanha

Anexo V - Figura 33

Região de Idanha-a-Nova
Cenário de Probabilidade de Incêndio Florestal
(Ocup. 2007) com a Área Ardida 2007 - 2011

Escala: 1/300 000



Projecção Rectangular de Gauss, Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
 Sistema de Coordenadas Hayford-Gauss,
 Translação de Origem -200 000 m em X e -300 000 m em Y